

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND

Keskkonnatehnoloogia

Marge Nõmmik

**BIOENERGEETIKA SEADUSANDLIK TAUST,
TEHNOLOOGIAD JA KASUTAMISE PERSPEKTIIVID
EESTIS**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Ain Kull

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2013

Sisukord

Sisukord	2
1. Sissejuhatus	4
3. Bioenergeetika valdkonda reguleeriv seadusandlus	7
3.1 Euroopa Liit	7
3.2 Eesti.....	11
3.3 Toetuskeemid bioenergeetika edendamiseks Eestis.....	14
4. Bioenergeetika tehnoloogiad ja perspektiiv Eestis	17
4.1 Tehnologiad ja toorained	17
4.1.1 Termokeemilised protsessid.....	17
4.1.2 Biokeemilised protsessid	23
5. Ressursihinnang ja perspektiiv	29
5.1 Halupuud.....	29
5.2 Hakkpuit.....	30
5.3 Pelletid, graanulid, brikett.....	31
5.4 Biogaas.....	32
5.5 Põletatavad olmejäätmed	34
5.6 Vedelkütused.....	34
5.6.1 Bioetanool	34
5.6.2 Biodiisel	34
6. Kokkuvõte.....	36

Legislative background of bioenergy, technologies and perspective for usage in Estonia	38
7.1 Kasutatud kirjandus	39
7.2 Kasutatud normatiivaktid.....	43
7.3 Kasutatud internetileheküljed	47
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks	50

1. Sissejuhatus

Biomass on defineeritud kui põllumajandusest, metsatööstusest ja sellega seotud tootmisest, sealhulgas kalandusest ja vesiviljelusest pärit bioloogilise päritoluga toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev fraktsioon ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunev fraktsioon (Euroopa Liidu Teataja, 2009a).

Biomass, mis tekib taimede/loomade elutegevusest või selle lõppemisest, uueneb pidevalt ja aineringe ning inimpõlvede seisukohast suhteliselt kiiresti. Biomass on süsinik-neutraalne energiaallikas, kuna sellest saadud kütuste põlemisel eralduv CO₂ hulk on kokkuvõttes sama, mis varem taimede poolt fotosünteesi protsessiks kasutatu. Kui asendada taastumatutest energiaressurssidest pärinev kütus bioenergiaressurssidega on võimalik oluliselt vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni ja keskkonna saastamist (Dornburg et al., 2007).

Bioenergia on osa taastuvenergiast, mis omakorda on osa koguenergiast. Bioenergia all mõistetakse biomassist toodetud energiat – soojust, elektrit ja biokütuseid (Riigikantselei..., 2007).

Bioenergeetika teema on Lääne-Euroopas muutunud väga aktuaalseks viimastel aastakümnetel ja ka Eestis on juba kümnekond aastat huvi selle valdkonna vastu iga aastaga üha tõusnud. Üheks põhjuseks on orgaaniliste jäätmete käitlemise probleem, teisalt on see seotud Eesti energiasüsteemis peatselt aset leidvate suurte muutustega. Eesti peab oma energiapoliitikat lähiajal muutma ja tegema teatud ümberkorraldusi. Lähtudes näiteks EL suurte põletusseadmete direktiivist 2001/80/EÜ, saab aastaks 2016 kasutada täna olemasolevast elektrilisest tootmisvõimusest vaid Narva Elektriijaamade kahte uut keevkihtpõletustehnoloogial põhinevat

energiaplokki, Iru Elektri jaama ja väikejaamasid, millede tootmispotentsiaal kokku on ca 25-30% tänasest tootmismahust (Leppiman, 2006). See kõik viitab asjaolule, et üha enam peab riik tähelepanu pöörama alternatiivsete energiatootmistehnike tõhustamisele ja olemasoleva efektiivsemale kasutusele, vastasel juhul tekib suur puudujääk siseriiklikul energiaturul. Pikemas perspektiivis on oluline energiaturu liberaliseerimine ja energiabilansi mitmekesistamine. Sellele aitab kaasa erinevate kütuseliikide suurem kasutamine ja selleks tõhusate võimaluste leidmine.

Käesoleva töö eesmärgiks on teha kokkuvõtte erinevatest bioenergeetika valdkonda puudutavatest seadusandlikest dokumentidest ja võrrelda neis antud ettekirjutusi saavutatuga. Otsitakse vastust küsimusele, millised suunad on Euroopa Liidu poolt antud tulevikuks, kui teostatavana need Eestis tunduvad ja mil määral neid järgitakse.

Töö koostamise käigus on uuritud erinevaid Eestis teostatud uurimistöid, kokkuvõtteid, nii riiklikke kui ka piirkondlikke arengukavasid, seadusandlike dokumente ja tutvutud võõrkeelsete teadusartiklitega. Viimased puudutavad eelkõige biomassiressurssi ja selle kasutusvõimalusi ning sellega seonduvaid rakendatud ja perspektiivseid tehnoloogilisi võimalusi. Nimetatud materjale kõrvutades ja võrreldes on püütud koostada ülevaade erinevatest kasutusel olevatest tehnoloogiatest ja ressursist ning nende perspektiivikusest.

2. Andmestik ja metoodika

Käesolev töö on koostatud tuginedes bioenergeetika valdkonda puudutavatele uurimustele ja artiklitele Eestis ja välismaal. Lühikokkuvõte on tehtud nii Euroopa Liidu bioenergiaga seotud olevatest normatiivaktidest ja seadusandlusest kui ka Eestis antud valdkonnas avaldatud dokumentidest, keskendudes Eesti puhul peamiselt arengu- ja tegevuskavadele, puudutades seadusandlikke dokumente vaid põgusalt. Arengu- ja tegevuskavasid on oluliseks peetud just eelkõige seetõttu, et need on konkreetsemad ja nendes on kirjeldatud täpseid eesmärke tulevikuks ning meetmeid nende elluviimiseks. Seetõttu on hea võrrelda võetud sihte, nende vastavust Euroopa Liidu poolt määratule ja nende täitmismäära.

Uurides erinevaid valdkonda puudutavaid teadusartikleid ja Eestis läbi viidud uurimisi ning nende kokkuvõtteid on ülevaade antud bioenergia tootmisel kasutatavatest toorainetest ja võimalikest tehnoloogiatest. Lähtudes Eestis juba kasutatavast bioressursist on leitud artiklite hulgast tehtud valik ja analüüsitud erinevate tehnoloogiate eeliseid ja puudujääke. Eelkõige on keskendutud Eestis juba kasutusel olevatele tehnoloogiatele ja lahendustele, millele on vastavalt kasutusperspektiivile lisatud ka neid, mis teoreetiliselt võiks tulevikus kasutust leida. Seejuures on arvesse võetud Eestis juba kasutatavaid ja veel puuduolevaid tehnikaid.

3. Bioenergeetika valdkonda reguleeriv seadusandlus

Euroopa Liidu üldise majandusliku ja sotsiaalse heaolu seisukohalt on energiaga varustatus kõigile liikmesriikidele väga oluline. Energeetilise tooraine varud Euroopas on napid ning nafta ja gaasi osas kasvab kiiresti Euroopa Liidu liikmesriikide sõltuvus impordist. Prognooside kohaselt kasvab sõltuvus sisseveetavatest energiakandjatest praeguselt umbes 50-lt protsendilt aastaks 2030 65- protsendini (Eesti taastuvenergia tegevuskava...,2010). Energia ratsionaalsema kasutamise vajaduse tingivad ka fossiilsete energiaallikate kasutamisega kaasnevad keskkonnamõjud ning energia ostuga seotud kulutuste mõju majanduslikule toimetulekule.

Energeetikat puudutavaks ja keskkonnavalaseks alusdokumendiks Euroopa Liidus on 1992. aastal sõlmitud ÜRO Kliimamuutuste raamkonventsioon koos 1997. aastal lisatud Kyoto protokolliga, mis ratifitseeriti 2002. aasta mais ja mille kolmanda peatüki kohaselt pidid kõik selle ratifitseerinud riigid vähendama 1990. aastaga võrreldes oma CO₂ emissiooni aastaks 2012 vähemalt 5% võrra (Ühinenud Rahvaste Organisatsioon, 1998). Kehtima hakkas Kyoto ka protokollilepe (veebruar 2005), mille põhieesmärgiks Euroopa Liidu liikmesriikidele oli siis vähendada CO₂ emissiooni 2012. aastaks juba 8% võrra (Euroopa Keskkonnaagentuur, 2006).

See oli aluseks, et Euroopa Liidu liikmesriigid hakkaksid välja arendama kohalikke strateegiaid ja tegevuskavasid, vähendamaks kasvuhoonegaaside emissioone ja suurendamaks üleüldist jätkusuutlikkust.

3.1 Euroopa Liit

Euroopa Liidu siseselt on lisaks Kyoto protokollile ja selle leppele vastu võetud mitmeid määruseid ja direktiive, mis aitavad kaasa seadusandlike seatud eesmärkide elluviimisele ja täitmisele ning nimetatud probleemide lahendamisele.

Üheks esimeseks oluliseks taastuvenergiat soosivaks Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiviks oli nn. RES-E Direktiiv ehk direktiiv taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia kasutamise edendamise kohta elektrienergia siseturul. Selle direktiiviga pöörati tähelepanu nii olemasolevate tehnoloogiate kaasajastamisele kui ka uute tootjate elektriturule pääsemise lihtsustamisele. Seda kõike loodeti saavutada turu avamise ja loodavate

toetussüsteemidega (Euroopa Parlament, Euroopa Nõukogu, 2001). Nüüdseks on direktiivis ettenähtu rakendunud ka Eestis, mis on toonud kaasa palju inimestepoolset pahameelt.

Direktiiviga sõnastati ka esialgne eesmärk toota 2010. aastaks taastuvatest energiaallikatest 12% sisemajanduses tarbitavast koguergiast ja 22,1% elektrienergiast. Pärast 2004. aasta liidu laienemist sai kõigile liikmesriikidele kohustuslikuks juba 21% taastuvatest energiaallikatest toodetud ja sisemajanduse poolt tarbitavast koguergiast. Hiljem aga selgus, et tulemused ei vasta just oodatule. 2006. aastaks oli taastuvatest energiaallikatest toodetud vaid 7,1% koguergiast (millest 66,1% oli toodetud biomassist, 20,5% hüdroenergiast, 5,5% tuuleenergiast, 4,3% geotermilisest energiast ja 0,8% päikeseenergiast), samas kui taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia kogutarbimine moodustas 14,7% (Teuch, 2010).

Kuna RES-E direktiiviga määratu päris reaalsuseks ei kujunenud, oli Euroopa Parlament ja Euroopa Nõukogu sunnitud välja andma järjest uusi ja täpsemaid direktiive, mis liikmesriikide tegevust ja vastuvõetavaid otsuseid veelgi täpsemalt määratleksid. Näiteks Eesti siseriiklikuks eesmärgiks sai 2020. aastaks viia taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osakaal energia lõpptarbimises 25%ni (Euroopa Liidu Teataja L 140, 2009a). Lisaks said kõik liikmesriigid kohustuse saavutada transpordisektoris biokütuste 10%-ne osakaal. Kaardistati ka toetuskavad, ühisprojektid, meetmed eri liikmesriikide ning kolmandate riikidega koostöös, samuti biokütuste ja vedelate biokütuste säästlikkuse kriteeriumid (Euroopa Liidu Teataja, 2009a).

Biokütuste direktiivis määratleti biokütuste protsent Euroopa Liidu transpordikütuste hulgas. Aastaks 2010 oli eesmärgiks saavutada biokütuste 5,75%-ne osakaal ja 2020. aastaks terendab silme ees juba 10% piir. (Euroopa Liidu Teataja L 123 , 2003) Lisaks nendele normatiividele on direktiivis juhitud tähelepanu ka igasuguse arendustegevuse ja võimalikele vormidele, mille kaudu biokütused kättesaadavaks muuta. Samuti paneb direktiiv paika korra, mil moel toimub kontroll selle täitmise üle. Liikmesriikidel lasub kohustus anda teada kasutusele võetud meetmetest ja saavutatud edusammudest iga aasta 1. juuliks. Komisjon koostab seepeale alates 2006. aasta lõpust iga kahe aasta möödudes aruande biokütuste ja muude taastuvkütuste kasutamise kohta liikmesriikides (Euroopa Liidu Teataja L 140 05.06.2009a). Liikmesriikidele tähendab see seniste soovituslike suundade ja eesmärkide asemel kohustust ka reaalselt asjaga tegeleda ja edusamme näidata.

Biokütuste seisukohast on oluline ka prügilate direktiiv, (Euroopa Liidu Teataja L 182/1, 1999) kuna seab piirid prügilasse ladestatavate olmejäätmete osas. Selle direktiivi kohaselt peab hiljemalt 2016. aastaks olema prügilates ladestatavate biolagunevate olmejäätmete üldkogus 35% (massi järgi) 1995. aastal või kõige hilisemal aastal enne 1995. aastat tekkinud biolagunevate olmejäätmete kogusest, mille kohta on Eurostati standarditud andmed. See tähendab, et enam tuleb tähelepanu pöörata nende ümbertöötlemisele ja taaskasutusele. Biolagunevatest olmejäätmetest ja loomjäätmetest on juba praegu võimalik toota biogaasi. Küsimus on vaid selle eetilisuses ja kasumlikkuses, kuna hoolikalt on vaja jälgida tooraine kvaliteetsust ja kulutada täiendavaid ressursse gaasi hilisemale puhastamisele.

Lisaks juba nimetatud direktiividele on Euroopa Parlament ja Nõukogu välja andnud veel näiteks parandusversiooni kasvuhoonegaaside saastekvootidega kauplemise süsteemi direktiivile (Euroopa Liidu Teataja L140, 2009(b)), millega kehtestatakse muuhulgas ka müüdavate kvootide jagunemine vastavalt riikide senistele edusammudele. Eesti osas on see 6%, mis näitab, et kasvuhoonegaase on suudetud vähendada edukalt. Samuti on vastu võetud süsinikdioksiidi kogumist ja säilitamist käsitlev direktiiv (Euroopa Liidu Teataja L140, 2009 (c)) ning taastuvaid energiaallikaid käsitlev direktiiv (Euroopa Liidu Teataja, 2009a). Neid kõiki peetakse osaks Euroopa Liidu seadusandja poolt kokkulepitud kliima- ja energiatõhususe paketist, mis tõhustab antud teemasid käsitlevaid peamisi õigusakte (Euroopa Ühenduste Komisjon, 2010).

Euroopa Liidu ametlikest strateegilistest dokumentidest, millega Eesti praegune kliimapoliitika seotud, on kindlasti olulised 20. novembril 1996. aastal vastu võetud „Roheline Raamat“ (Euroopa Komisjon, 1996) ja sellele 1997. aastal järgnenud dokument „Valge Raamat“ (Euroopa Komisjon, 1997).

Esimeses, Rohelise Raamatus, tehti üldiseid ettepanekuid taastuvate energiaallikate osakaalu suurendamiseks ja nende laiemaks kasutuselevõtuks, võitlemaks kasvuhooneefekti ja kliimasoojenemise vastu. Optimistlikult suhtuti kiire kasvu ja laialdase tootlikkusega põllukultuuridesse (näiteks sorgo), millest saab samaaegselt nii tselluloosmaterjali kui ka lähteainet vedelateks biokütusteks (aastane tootlikkus hektari kohta 5m^3 bioetanooli ja 20 tonni kuiva tselluloosmaterjali) (Energy for the future...1997). Samas rõhutati, et kindlasti on vajalik

biomaterjali kasvatamiseks kasutatava maa-ala piiritlemine, et vältida toiduainetööstuse ja teraviljakasvatuse allasurumist (Energy for the future...1997).

Valge Raamat: Tulevikuenergia – Taastuvad energiaallikad, sisaldas endas juba konkreetsemaid eesmärke, mis määrasid 2010.aastaks taastuvate energiaallikate osaks 12% sisemaisest energia kogutoodangust ja aastaks 2020 juba 20% (Euroopa Komisjon, 1997). Viimane eesmärk kinnitati Euroopa Ülemkogul 8.-9. märtsil 2007, kusjuures täiendavaks sihiks sai vähendada samaks ajaks ka kasvuhoonegaaside emissiooni 20% ning parandada energiatõhusust samuti 20 protsendini (Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium..., 2008).

2001. aasta juunis kiideti heaks ka Euroopa Liidu Säästva arengu strateegia, (<http://www.envir.ee...>) mida hiljem uuendati aastateks 2005-2010 ja lisati ka lühiajalisemaid eesmärke (Euroopa Liidu Nõukogu, 2006). Nimetatud strateegia on eelkõige oluline, kuna on aluseks teiste riiklike ja piirkondlike strateegiate väljatöötamisel ning kandis sõnumit, et säästva arengu majanduslik, sotsiaalne ja keskkondlik mõõde peavad liikuma käsikäes ja vastastikku teineteist täiendama (<http://www.envir.ee...>).

Strateegia põhieesmärgid, mis seotud kliima ja keskkonnatemaatikaga, olid kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine (8% võrreldes 1990. aasta tasemega), maapinna keskmise temperatuuri tõusu rohkem kui 2°C võrra vältimine (võrreldes eelindustriaalse ajajärgu tasemega), 2010.ks aastaks saavutada taastuvatest energiaallikatest toodetu keskmiselt 12% -line osakaal energia- ja 21%-line osakaal elektritarbimisest (2015.ks aastaks juba 15%) ja indikatiivse eesmärgina saavutada see, et 2010. -ks aastaks 5,75% transpordikütustest koosneks biokütustest. Lisaks märgiti ära, et tuleks suurendada energia lõppkasutuse tõhusust ja saavutada 9%-line energia lõpptarbimise kokkuhoid.

Uusimaks Euroopa Komisjoni poolt välja antud Euroopa majanduskasvu ja tööhõive strateegiaks on "Euroopa 2020". Selle näol on tegemist Euroopa uue majanduskasvu ja tööhõive strateegiaga, mis on senise Lissaboni strateegia (Strategy for Growth and Jobs) jätkustrateegia. (Vabariigi Valitsus, 2012) Kui Lissaboni strateegia võttis eesmärgiks muuta Euroopa Liit aastaks 2010 kõige konkurentsivõimelisemaks teadmispõhiseks majanduseks, siis uue strateegia kohaselt pööratakse tähelepanu enam ka jätkusuutlikkusele ja sotsiaalsele kaasatusele. Jätkusuutlikkuse all peetakse silmas eelkõige jätkusuutlikku majanduskasvu, mis hõlmab muuhulgas ka

konkurentsivõimelisema, ressursitõhusa, loodussäästlikkuma ja vähese süsinikdioksiidiheitega majanduse loomist. (Euroopa Komisjon, 2012) Strateegia põhijoontes lepiti kokku 2010. aasta juunis Euroopa Ülemkogul ja vastavalt neile koostas ka Eesti omapoolse konkurentsivõimekava – ”Eesti 2020”, loetletud eesmärkide täitmiseks. (Vabariigi Valitsus, 2012)

Lisaks direktiividele ja strateegilistele dokumentidele on koostatud ka erinevaid arengu- ja tegevuskavasid, näiteks „Biomassi tegevuskava“. (Euroopa Ühenduste Komisjon, 2005) ja Biokütuste strateegia, (Euroopa Ühenduste Komisjon, 2006). Need peaks aitama teistes dokumentides määratud eesmärgi veelgi kindlamalt ellu viia.

Seda, et ka pärast 2020. aastat on taastuvenergiaallikate laialdasem kasutamine üks Euroopa Liidu põhieesmärgi, näitab Euroopa Komisjoni teatis „Konkurentsivõimeline vähese CO₂ heitega majandus aastaks 2050 – teetähis“. Antud kava näeb ette, et aastaks 2050 peaks Euroopa Liit tervikna vähendama CO₂ heidet energiatootmisest 80-95% ja taastuvenergia osakaal lõplikust energiatarbimisest peaks ulatuma vähemalt 55%ni (<http://eur-lex.europa.eu...>).

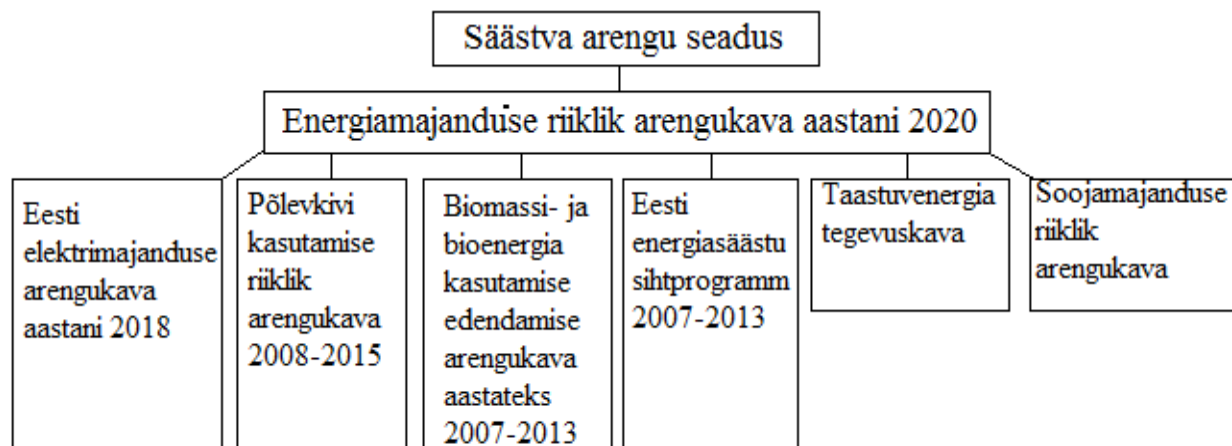
3.2 Eesti

Eesti ratifitseeris ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni 1994. aastal. Selle juurde kuuluva ja 2002. aastal ratifitseeritud Kyoto protokolli kohaselt oli Eesti kohustus vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni 8% võrra, võrreldes 1990. aasta emissioonikogustega.

ÜRO Kliimamuutuste raamkonventsioonile tuginev Säästva arengu seadus võeti Eestis vastu 22. veebruaril 1995. aastal (Riigi Teataja I 1995, 31, 384). Sama aasta aprillis jõustunud seadus on hetkel põhiline alusdokument, mis sätestab Eesti looduskeskkonna ja loodusvarade säästliku kasutamise alused. Teised, energeetika valdkonda reguleerivad ja kaudselt säästva arenguga seotud seadused Eestis, on elektrituruseadus, maagaasiseadus, vedelkütuseadus, vedelkütusevaru seadus, kaugkütteseadus, ja seadmete energiatõhususe seadus. (Eesti kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline..., 2004) Need küll reguleerivad siiski pigem kütuse- ja energiamajanduse valdkonda üldiselt, kuid samas on selgesuunaliselt säästvat ja jätkusuutlikku arengut soodustavad.

Mainitud seadustele lisaks on koostatud Säästva arengu seadusele tuginevad ja juba otsesemalt Eesti energiamajanduse raamistikku paika seadvad arengukavad: „Eesti kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015” ja uuem „Energiamajanduse

riiklik arengukava aastani 2020“. Eesti energeetikavaldkonna strateegiliste dokumentide ja säästva arengu seaduse omavahelisi seoseid iseloomustab joonis 1.



Joonis 1. Energiamajanduse arengukava seosed teiste arengukavade ja energiasäästu sihtprogrammiga (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2008).

Nagu varasemalt mainitud, põhineb Eestis kehtiv seadusandlus, mis seotud säästva ja jätkusuutliku arenguga, peamiselt Säästva arengu seadusel. See sätestab Eesti säästva arengu rahvusliku strateegia alused. Seaduses on puudutatud üldisi keskkonda puudutavaid toiminguid, selle elukeskkonna kaitset ja jätkusuutliku väärtuse andmist. Ühtlasi on käsitletud tasakaalustatud arengu kavandamist ja tulevaste arengukavade koostamise põhimõtteid. Määratud on, et arengukava koostatakse energeetika, transpordi, põllunduse, metsanduse, turismi ning keemia-, ehitusmaterjali- ja toiduainetööstuse arengu suunamiseks. (Riigi Teataja I 1995, 31, 384).

Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020 (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2008) loodigi juba vastavalt Säästva arengu seaduses ettenähtud määrusele. Selle peamiseks eesmärgiks on siduda omavahel valdkonna spetsiifilised arengukavad ja anda energiapoliitika üldsuunad kuni aastani 2020. Arengukava annab ülevaate tollasest hetkeseisust ja tulevikuväljavaadetest, samuti Euroopa Liidu alasest regulatsioonist, mis

puudutab energeetikavaldkonda, toob välja eesmärgid ja meetmed nende teostamiseks andes ette ka tähtajad. Sellel põhinevalt on loodud ka Soojamajanduse riiklik arengukava ja Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2008-2013 (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2008), millel küll bioenergeetikaga puudub otsene seos.

Bioenergeetikaga tihedalt on aga seotud biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava aastateks 2007-2013 (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2009). Selle eesmärgiks on luua kodumaise biomassi ja bioenergia tootmise arenguks soodsad tingimused, et vähendada Eesti sõltuvust imporditavatest ressurssidest ja fossiilsetest kütustest ning vähendada survet looduskeskkonnale. Konkreetse eesmärgina tuuakse välja koostootmisjaamades toodetud bioenergia osakaalu tõstmist 3%-ni (energia lõpptarbimisest) aastaks 2013. 2010. aastal oli see veel 1,59% (Eesti Konjunkturiinstituut, 2011). Arengukavas rõhutatakse, et oluline on vähendada Eesti sõltuvust imporditavatest energiaressurssidest ning laiendada biomassi kasutamist energia toorainena (Riigikantselei ja..., 2007). Samu põhimõtteid toetab ka elektrituru seaduse alusel koostatud elektrimajanduse arengukava aastani 2018, (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2009), milles peetakse perspektiivikaks just elektri- ja soojusenergia koostootmist, kui suudetaks tagada vaid pidev soojuskoormus, et vähendada kadusid. Koostootmisjaamade rajamist ja energiamajanduse efektiivsuse parendamisele suunatud projekte toetab ka Eesti energiasäästu sihtprogramm, 2007-2013 (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2007).

Uusimateks dokumentideks on 2010.aasta 26. novembril Vabariigi Valitsuse poolt heaks kiidetud „Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020“ ja selle rakendusplaan ning 2011. aasta 28. aprillil heaks kiidetud konkurentsivõime kava „Eesti 2020“. Taastuvenergia tegevuskava puhul on tegemist Euroopa Liidu taastuvenergia direktiivi 2009/28/EÜ nõuetele vastava kavaga, mis peab tagama selle, et taastuvenergia osakaal moodustaks energia lõpptarbimisest 25%. Juba 2010. aastal oli antud näitaja Eestis 24,0% (Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium, 2011). Transpordis kasutatavatest kütustest peavad sealhulgas taastuvad energiaallikad moodustama 10% (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2010), 2010. aastal oli see vaid 1,76%. (Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium, 2011).

Mõlemad dokumendid kuuluvad kokku energiamajanduse riikliku tegevuskavaga aastani 2020 ja on seotud Säästva arengu seadusega. Neile lisandub veel konkurentsivõime kava “Eesti 2020”, puhul on tegemist strateegiaga Euroopa 2020 seotud kavaga, mis on loodud selles püstitatud eesmärkide saavutamisele kaasaaitamiseks. (Konkurentsivõime kava...,2010). Kava kõige värskem versioon kinnitati 2012. aasta aprillis (Konkurentsivõimekava “Eesti 2020”, 2012).

Lisaks nimetatud arengukavadele ja sihtprogrammidele on Energiamaajanduse riiklik arengukava seotud ka mitmete teiste dokumentidega. Energeetikavaldkonna seisukohast lähtuvalt ja bioenergiat enim puudutavateks on: Eesti säästva arengu riiklik strateegia “Säästev Eesti 21”, Eesti keskkonnategevuskava aastateks 2007–2013, Eesti keskkonnastrateegia aastani 2030, Eesti energiatehnoloogia programm. Samuti Eesti teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni strateegia “Teadmistepõhine Eesti” 2007–2013, mis keskendub ühiskonna jätkusuutlikule arengule teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni kaudu, mis aitab kaasa Eesti pikaajalise arengustrateegia “Säästev Eesti 21” eesmärkide saavutamisele.

3.3 Toetuskeemid bioenergeetika edendamiseks Eestis

Eelnevalt käsitletud arengukavades nimetatud eesmärkide ja Euroopa Liidu poolt kehtestatud normatiivide täitmiseks peab riik koostöös erinevate ministeeriumidega rakendama ka erinevaid reaalseid meetmeid nagu: soodustariifid, päritolusertifikaadid, aktsiisivabastus, tehnoloogia arendamine ja toetused.

Eestis vastutab energiaturu regulatsiooni ja tehniliste nõuete sätestamise eest Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. Energeetikat oluliselt mõjutavaid regulatsioone töötavad välja ka Keskkonnaministeerium (maavarade kasutus, saastetasud, keskkonnanõuded jms) ning Rahandusministeerium (aktsiisimaksud, käibemaksu põhimõtted, riigieelarveliste vahendite kasutamine jms) (Eesti kütuse ja energiamajanduse pikaajaline..., 2004). Energiaturul toimuva üle teostab järelevalvet Energiaturu Inspeksioon ja Konkurentsiamet. Vedelkütuseturualast järelevalvet teostab ka Tolli- ja Maksuamet. Kasutatavate seadmete tehnilist korrasolekut kontrollib Tehnilise Järelevalve Inspeksioon ja tarbijate huvisid suhetes energiaettevõtjatega esindab Tarbijakaitseamet.

Toetusi taastuvenergia allikate kasutuselevõtuks energiaspektori ettevõtjatele jagatakse elektritootjatele elektrituruseaduse alusel (väljamaksjaks OÜ Elering), vedelkütuse tootjatele

alkoholi-, tubaka-, kütuse- ja elektriaktsiisi seaduse alusel ning kaugküttemajanduses EL struktuurifondidest ja muudest allikatest SA Keskkonnainvesteeringute Keskus vahendusel (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2010).

Et suurendada taastuvenergiaallikate kasutamist energia tootmiseks, makstakse alates 24. märtsist 2009 kaugkütte ettevõttele rahalist investeeringutoetust. Põllumajandustootjatele, makstakse kuni 2013. aastani bioenergia tootmise investeeringutoetust (Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium, 2010) ja Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ameti kaudu makstakse põllumajandustoodetele ja mittepuidulistele metsasaadustele ka lisandväärtuse andmise investeeringutoetust (Põllumajandusministeerium, 2010).

Sõltumatu ja iseseisva Eesti elektrisüsteemihalduri Elering poolt makstavaid toetusi määratakse elektrienergia eest, mis on toodetud taastuvatest energiaallikatest, koostootmise režiimil biomassist või tõhusa koostootmise režiimil (vt. tabel 1). Alates 2013 aastast on toetused ette nähtud ka põlevkivil töötava tootmiseseadme netovõimsuse kasutatavuse eest.

Tabel 1. OÜ Elering poolt makstavad toetuste määrad ja maksmise tingimused.

Allikas: <http://www.elering.ee...>

Toetuse määr	Toetuse saamise tingimused
	Toetust makstakse elektrienergia eest, mis on toodetud:
0,0537 Euro/kWh	taastuvast energiaallikast, välja arvatud biomassist;
0,0537 Euro/kWh	koostootmise režiimil biomassist. Pärast 31.12.2010 biomassist elektrienergia tootmist alustanud tootja võib saada toetust ainult tõhusa koostootmise režiimil toodetud elektrienergia eest.
0,032 Euro/kWh	tõhusa koostootmise režiimil jäätmetest, jäätmeseaduse tähenduses, turbast või põlevkivitöötlemise uttegaasist;
0,032 Euro/kWh	tõhusa koostootmise režiimil tootmiseseadmega, mille elektriline võimsus ei ületa 10 MW;

Taastuenergia toetuste saamiseks on 2011. aasta I kvartalis esitatud taotlusi üle 12 miljoni euro ning tõhusa koostootmise toetuste taotlusi 1,5 miljoni euro ulatuses. Võrreldes aastataguse ajaga on see vastavalt 54% ja 19% enam. (Elering OÜ , 2011b)

Perioodil 2007-2010 on bioenergia kogutoetus Eestis olnud 67,02 mln € ning 70% väljamaksetest (46,86 mln €) kulutati biomassist (puit) ja biogaasist elektrienergia tootmise suurendamiseks (Kippa jt., 2011).

1. maist 2007 maksavad ka kõik elektritarbijad vastavalt elektrituruseadusele taastuvatest energiaallikatest toodetud elektri toetuseks igalt tarbitud elektri kilovatt-tunnilt taastuenergia tasu, käesoleval aastal koos käibemaksuga 1,04 eurosent/kWh (<http://elering.ee...>).

Avatud energiaturu taastuenergiatoetused on jäänud samaks, lisandunud on vaid toetus ka põlevkivil töötava tootmiseseadme netovõimsuse kasutatavuse eest (<http://elering.ee...>). Sihtasutus Kredex pakub erinevaid toetusi nii elumajade energiatõhusamaks muutmiseks, kui ka eelneva energiaauditi tegemiseks (<http://www.kredex.ee...>).

4. Bioenergeetika tehnoloogiad ja perspektiiv Eestis

Eestis on ulatuslikud alad, mis kaetud metsaga. Metsaressursi kasutamisel ja töötlemisel tekkiv toormaterjal on võimalik biokütuste tooraine. Põllumaa, mida küll toetuste tõttu niidetakse ja küntakse on potentsiaalne energiakultuuride kasvatamiseks. Aastas tekib ainuüksi 0,3 tonni olmejäätmeid inimese kohta (Statiskaamet), millele lisanduvad ka põllumajanduses ja toiduainete töötlemisest tekkivaid jäätmeid. Need ja veel teisedki taastuvate energiaallikate ja bioenergia tooraine ressursid on saanud eelnevalt vähe tähelepanu, kuid on nii üldistele Euroopa Liidu seadustele kui ka taastumatute energiaallikate varude lõppemisele viidates olulised vaatluse alla võtta.

4.1 Tehnoloogiad ja toorained

Biokütuste tootmiseks kasutatakse biomassi või jäätmeid. Tooraine töötlemiseks ja sellest energia saamiseks on kasutusel erinevad protsessid, mille võib lihtsustatult jagada kaheks: biokeemilised ja termokeemilised. Parema tulemuse saamiseks, et suurendada biolagunevust ning vesiniku ja metaani tootmispotentsiaali, on uuritud ka mitmeid füüsikalisi ja keemilisi meetodeid, et toorainet eeltöödelda (peenestamine, termiline töötlemine, osoneerimine, jne) (Menert, 2008).

4.1.1 Termokeemilised protsessid

Peamisteks termokeemilisteks protsessideks biomassi töötlemisel on põletamine, pürolüüs, gaasistamine ja veeldamine.

4.1.1.1 Põletamine

Kütuste põletamisel toimub selle põlevkomponentide ühinemine hapnikuga. Enamasti on põletamine laialt levinud soojuse tootmiseks, kodumajapidamistes ka toidu valmistamiseks, võimalik on toota ka elektrienergiat või koostootmise teel nii elektri- kui ka soojusenergiat. Põlemisrežiim on hea, kui koldes ülekantud soojushulk on võimalikult suur ja põlemata aine kogus suitsugaasis minimaalne. Sel juhul seadme (kolde, katla) kasutegur on kõrge, atmosfääri ja küttepindade saastumine aga madal (Paist jt. 2006).

Toorainena kasutatakse enamasti puitbiomassi, sest võrreldes rohtse biomassiga on sel paremad omadused.

Kuiva põhu (niiskusesisaldusega kuni 15%) kütteväärtus on 16,5-17,5 MJ/kg (Kippa jt., 2011). Põhu energiatihedus on väike, kuid selle briketeerimisel on võimalik saavutada energiatihedus 12,7 MJ/dm³, mis on suurem isegi puidu omast (7 MJ/dm³) (Kippa jt., 2011), samas tuleb siis arvestada briketeerimiskuludega.

Lendainete sisaldus kipub rohtsel biomassil olema kõrgem, kui puitbiomassil, samuti lämmastiku, kloori ja tuha sisaldus. Viimased on olulised just põletusseadme konstruktsiooni ja eluea seisukohalt ning võivad kaasa tuua mitmeid probleeme (ummistused tuha tõttu, korrosioon, jt) (Obenberger et al., 2006). Samuti on põletamisel probleemne tooraine niiskusesisaldus. Küttepuude puhul näiteks on soovitatav kütteks kasutada halupuid, mille niiskusesisaldus ei ole üle 20%. Selleks peaks puud riidas kuivama vähemalt 1,5 aastat (Andresson, 2010). Niiskus muudab puidu kasutamise keeruliseks, sest loomulikult teel kuivatades võtab see palju aega, tehiskultuurid on aga kulukad ja energiamahukad. Eksisteerivad ka helio- ehk päikesekuivatid, kuid Eestis on nende uurimine ja arendustegevus alles algusjärgus ja nõuab täiendavaid investeeringuid (Ansper, 2009).

On olemas kolm peamist tehnoloogia liiki, mida saab kasutada põletamiseks keskmistes ja suurtes biomassil töötavates jaamades: restkolded, keevkihtsüsteemid ja tolmkütuse põletamisseadmed (<http://bisyplan.bioenarea.eu...>).

Eestis põletatakse biokütuseid enamasti tiheda kihiga kiht- ehk restkolletes. (Paist jt. 2006) Kolderestil paiknevas tihedas kihis toimub kütuse kuivamine, lendosade eraldumine ja koksi põlemine primaarõhu osavõtul. Kasutatakse liikumatuid (kõige odavamad), liikuvaid (vibreerivaid, edasi-tagasi liikuvaid, pöörlevaid) reste või sigarpõletit (<http://bisyplan.bioenarea.eu...>), mille puhul kasutatakse kütusena terveid põhupalle, mis omakorda nõuab toormaterjali täiendavat eelkäitlust ja lisakulutusi (Kippa jt., 2011). Ajahükkus põletatava kütuse hulka (seadme võimsust) saab muuta põhiliselt restile antava kütusekoguse ja primaarõhu koguse muutmisega (Paist jt. 2006).

Keevkihtsüsteemide puhul põletatakse kütus „inertse“ materjaliga täidetud kihis. Kiht tõstetakse õhuvoolus üles ja kütuseosakesed kihist välja ning tekib nn. vedelfaas. Eristatakse mullilist (BFB) ja tsirkuleerivat (CFB) keevkihti.

Tolmkütuse süsteemid on levinuimad kivisöe või põlevkivi põletamiseks, biomassist kütuste puhul kasutatakse kütusena nt. saepuru (<http://bisyplan.bioenarea.eu...>).

Väikesemahuliseks põletamiseks kasutatakse Euroopas enamasti ühepereelamu küttekatlaid. Kütusena kasutatakse enamasti puitu või rohtsest biomassist põhku/õlgi (põhupalle, põhupelletideid).

Nii suured kui ka väiksema võimsusega katlad jagunevad vastavalt Euroopa standardile EN 303-5 heitgaaside järgi kolme klassi, mille järgi esimesse klassi kuuluvad on kõige kõrgemate heitgaasiemissioonidega ja kolmandasse kõige paremate näitajatega (<http://www.biomassenergy.gr...>). Seejuures on veel eristatavad käsitsi ja spetsiaalse masinaga kütusega varustatavad katlad.

Esimene suurem põhuküttel kaugküttesoojust tootev ettevõtte Eestis on AS Tamsalu Kalor. Põhukattel installeeriti 2006. aastal ning soojusega varustatakse Tamsalu linna ja Sääse alevikku. Põhukütet on kasutanud ka Procom Investeeringud OÜ kasvuhoonete kütmiseks. 2011. aastal alustas Goodwill OÜ Võrumaal ka jaetarbijaile saadaval oleva põhubriketi tootmist (Kippa jt., 2011). Kütmiseks kasutatakse ka heina. 2009. aastal alustati ka Lihula katlamajas optimistlikult heina kasutamist (Källe, 2011), kuid 2012. aasta vihmane suvi sundis sellele siiski hakkpuitu eelistama (Soopan, 2012). Põhjuseks heina liigne niiskus, millega peab kindlasti heina või põhu toormel töötavate katlamajade juures arvestama.

Peale põhu on toorainena kasutatavaks põllumajanduslikku päritolu biomassiks ka puuviljade ja köögiviljade kasvatamisest ülejäänud taimeosad. Kuna selline tooraine on aga tavaliselt väga suure niiskusesisalduse ja madala kütteväärtusega, kasutatakse seda sageli koostootmisjaamades mõne teise biokütusega põletades (eelkõige põhk ja muu rohtne biomass) või hoopis kääritamiseks (Kippa jt., 2011).

Pellet- või brikettkütust, kasutatakse ka puidu puhul, eesmärgiks tõsta puidu kütteväärtust ja vastupidavust. Brikettide tootmisel rakendatakse kolb- või kruvipresse ja tooraine on saepuru

või hõövlilaastud, uudsena ka näiteks hobuste allapanu (Hovi jt., 2011). Pelletite ehk graanulite tootmisel on kasutuses silindriline matriitspress ja tasapinnaline matriitspress (Vares jt., 2005). Neid on lihtsam käsitseda kui briketti ja neid võib kasutada ka alternatiivina õliküttele, kuid toormaterjalile esitatavad nõuded on tootmise puhul karmimad.

Puidust toodetavateks biokütusteks on peale pelletite ja briketi veel küttepuud (halud), puidujäätmed (laastud, puukoor, vms), hakkpuit, puude langetamis- ja harvendamisjäätmed. Peale eelmainitute jääb metsaraiest maha tavaliselt palju oksa ja peenemat laastumaterjali, samuti saepuru, mis tihtipeale küll jäävadki metsa alla kõdunema, sest pole nii väärtuslikud, et oleks tasuv neid täiendavalt transportida. Neile lisanduvad täiendavad kogused puidutöötlemise jäätmeid mööbli-, vineeri, liimpuidu-, plaadi- ja teistes tööstustes (Leppiman, 2006). Lisaks tekib Eesti saetööstustes aastas 0,6 miljonit tm (3180 TJ) saepuru ja 0,5 miljonit tm puukoorejäätmeid (2650 TJ). See teeb puidujäätmed Eestis arvestatavaks allikaks energia tootmisel. 2010. aastal näiteks saadi ainuüksi puidujäätmetest 4318 TJ energiat (Kippa jt., 2011).

Täiendavalt on võimalus kasvatada energiavõsa. Teadmised ja ka näidiskatsealad paju energiavõsade kasvatamiseks on Eestis olemas (Tullus, 2008). Väärtustunud on pajuistandused reovete biopuhastitena, näiteks Tartumaal, Kambja valla reovete puhastuseks rajatud paju energiavõsa esimene koristusraie toimus 2008. aasta kevadtalvel. Soovitavad puidupõhised liigid Eestis energiakultuurina kasvatamiseks on: lepad (hall lepp ja sanglepp); arukask; haavad (hübriidhaab ja harilik haab) ja pajud (Tullus et al., 2008). Praeguseks on Eestis ligi 700 ha hübriidhaava kultuure, millest enamus on pärast omanikuvahetust AS Södra Eesti omandis (Tullus et al., 2008).

Põletamiseks kasutatakse peale puidu ja põllumajandusliku rohtse biomassi ka turvast (peamiselt frees- ja tükkhurst, turbabrikett, graanulid) ja pilliroogu.

Pilliroo süsinikusisaldus on väiksem kui näiteks puidul või turbal (Aavik, Kask, 2010). Pilliroo põlevkomponentide peamised koostisosad on süsinik ja vesinik, moodustades sellest kokku keskmiselt 55%. Vesinikusisalduse poolest ületab pilliroog puidu ja turba vastavaid näitajaid.

Sulamistemperatuur on pillirool 1400 C° ringis, mis võrreldes näiteks õlgede sulamistemperatuuriga (<1000 C°) on kõrge ja tuhasisaldus 4-6%. Et korvata tuha suurt määra ja struktuuri ning pilliroo kasutusele ökonoomsust lisada valmistatakse materjalist brikette või

pelleteid. Näitena võib tuua suure roopalli tiheduse, mis on 140-170 kg/m³ ja pelletite tiheduse, mis on 500-700 kg/m³ (<http://www.pilliroog.ee...>). Niiskusesisaldus on vastavalt koristamise ajale, kas ligikaudu 60% (koristatud suvel) või 14% (lõigatud jää pealt talvel). Talvisel ajal kogutud pilliroo kütteväärtus on sarnaselt 25% niiskusesisaldusega hakkpuidule 13-15 MJ/kg. (Roostikestrateegia..., 2012). Pilliroo kuivaine kütteväärtus aga ei sõltu selle koristusajast ja paigast, kus see on niidetud, keskmiselt on see 17 MJ/kg (Aavik, Kask, 2010).

Peamiselt kasutatakse pilliroogu just koospõletamisseadmetes, kus seda lisatakse viie kuni kümne protsendi ulatuses näiteks hakkpuidule või turbale. Kateldest on põletamiseks sobivaimad keevkihtkolded ja hästi reguleeritavad restkolded (Aavik, Kask, 2010)

Koospõletusmeetodeid kasutatakse põletamise puhul eelkõige selleks, et tõsta protsessi efektiivsust. Ei kasutada toorainena mitte ainult puitu või rohtset biomassi vaid ka näiteks jäätmeid, või põletatakse neid kõiki koos fossiilsete kütustega. Viimastel aastatel on tööd alustanud mitmed eraomandisolevad koostootmisjaamad, kus kütuseks kasutatakse puulaaste, -koort, raiejäätmeid ja turvast. 2009. aastal alustasid tööd koostootmisjaamad Väos ja Tartus. Väo koostootmisjaama investeeriti 96 milj. eurot ning sealne aastaseks tootmismahuks oletati 180 GWh elektrienergiat ja kuni 500 GWh soojust (<http://www.elektrijaam.ee...>) ning Tartu jaam, investeeringumaksumusega 1015 milj. eurot, millelt oodati tootlikkust 158 GWh elektri- ja 304 GWh soojusenergiat aastas (<http://www.fortumtartu.ee...>). 2010. aasta lõpul rajati ka Pärnusse sarnane koospõletusjaam, mis eeldusel on võimeline tootma 110 GWh elektrienergiat ja 220 GWh soojust, jaama kogumaksumuseks kujunes 80 milj. eurot (<http://issuu.com...>). Koostootmisjaamade puhul on väiksestes detsentraliseeritud energiavarustussüsteemides majanduslikult atraktiivne puidu gaasistamise tehnoloogia. (Kask, 2011)

4.1.1.2 Puidu gaasistamine ja veeldamine, pürolüüsiprotsess

Biomassi gaasistamine / gasifitseerimine on protsess, mille käigus muundatakse tahke kütus gaasiliseks. Protsessil toimib oksüdeerijana piiratud kogus hapnikku, õhku, veeauru või nende kombinatsioon (Pärn, 2005). Gaasistamine jaguneb neljaks põhietapiks: kuivatamine, pürolüüs, põlemine ehk oksüdatsioon ja taandamine ehk reduktsioon (Ruiz, et al., 2013). Pärast tahke kütuse gaasistamist tuleb saadud gaas erinevatest lisanditest ka puhastada, et saada kvaliteetset ja kasutuskõlblikku kütust. Enamlevinud lisandid, mis tuleb eemaldada on süsivesinikud, tolm, ammoniaak, väävel, kloriid ja leelised (Pärn, 2005).

Kasutusel on samuti katalüütiline meetod, mille puhul tooraine gaasistatakse sünteesigaasiks (süngaasiks) ja millest vedelkütuse (diiselmootori, metanooli, etanooli) saamiseks kasutatakse Fischer-Tropschi reaktsiooni (Reiska, 2011). Tšehhis on välja töötatud ka süngaasi saamise meetod plasmakaare seadmega, mille puhul saadud gaas ei sisalda kompleksseid süsivesinikke ega tõrva (Reiska, 2011).

Pürolüüs ise võib olla kõrgetemperatuuriline (ligikaudu 700 °C) või madalatemperatuuriline (ligikaudu 300 °C, “kerge pürolüüs”), mis annavad erinevas proportsioonis tahket jääki (süsi), vedelat jääki (pürolüüsiõli) ja gaasilist jääki (pürolüüsigaas) (<http://bisyplan.bioenarea.eu...>).

Olenevalt pürolüüsi saaduste kasutamisest tuleb erineva tooraine põhjal valida kasutatav temperatuur. Kui pürolüüsi teel toota gaasi, peaks see olema kõrgem, sest just kõrgetel temperatuuridel on gaasitoodang suurim, madalamatel temperatuuridel tekib rohkem tuhka (Phan et al., 2008). Eristatakse ka aeglast- ja kiiret ehk väikpürolüüsi (Kask 2011). Kiirpürolüüsil kuumutatakse toorainet temperatuurivahemikus 350-500 °C vähem kui 2 sekundit, antud tehnoloogia tagab protsessi kõrgema efektiivsuse (Kask, 2011). Pürolüüsi eriliigid on krakkimine (nt. söe tootmisel) ja utmine (nt õli tootmisel) (Kask, 2011).

Puidu pürolüüs algab temperatuuril 200-300 °C. Puugaas tekib biomassi (eeskätt puidu) kuumutamisel (üle 700°C) ilma õhu juurdepääsuta (utmine) või gaasistamisel kuivdestillatsiooni ehk pürolüüsi meetodil (Kask, 2011). Puugaas koosneb peamiselt lämmastikust (N₂), süsinikoksiidist ehk vingugaasist (CO), metaanist (CH₄), süsihappegaasist (CO₂) ja vesinikust (H₂). Kütteväärtus on puugaasil umbes 1,25 MWh/1000 m³. 100 kg puidust saab 34...40 m³ gaasi (Kask, 2011). Puugaasi tooraineiks sobivad kõik lignotselluloossed materjalid, mis on eelnevalt peenestatud ja kuivatatud.

Ka pilliroost on tänu suurele tselluloosisisaldusele võimalik toota teise põlvkonna vedelaid biokütuseid ja generaatorgaasi. Pilliroo kuivaine sisaldab tselluloosi keskmiselt 40,88%, hemitselluloosi 23,57% ja ligniini 9,06% (Aavik, Kask, 2010). Pilliroog on seetõttu vedelate biokütuste tootmisel hea aseaine põllukultuuridele, kuid jääb siiski alla puitkütustele (Aavik, Kask, 2010).

Üheks pürolüüsi saaduseks on õli. Bioõli, ka puidu- või pürolüüsiõli, on tumepruun, vabalt voolav vedelik, mis koosneb kõrgelt oksüdeerunud komponentidest ja on keemiliselt olemuselt

vesiemulsiivne suspensioon (Steele et al., 2009). Bioõli komponentideks on peamiselt vesi (20 - 25%) ja vees lahustumatu pürolüüsi ligniin (25 – 30%), ülejäänud moodustavad orgaanilised happed, mittepolaarsed süsivesinikud ja teised oksüdeerunud komponendid (Pärn, 2005).

Õli leiab kasutust nii toiduainetööstuses (nn. vedela suitsuna) kui ka keemiatööstuses ja kütusena kateldes. Eelkõige kütusena kasutades tulevad välja bioõli eelised näiteks vesiniku või gaasi ees. Nimelt võib puiduõli kasutada ka juba olemasolevates happekindlates vedelkütel töötavates seadmetes ja süsteemides (Pärn, 2005). See on ühtviisi keskkonnasõbralik, vältides probleeme seoses kasutuksmuutuvate seadmete utiliseerimisega ning hoiab samuti madalal kulutusi ümberehituste ja uue tehnika soetamise arvelt. Karakteristikute poolest on bioõli happeline (pH 2,2-3,0) (Steele et al., 2009), kõrge tihedusega (kuni 1,2 kg/l kohta), ja suhteliselt kõrge kütteväärtusega (kaalu järgi ~40% , mahu baasil ~55% diiselmootori omast) (Pärn, 2005).

Bioõli valmistamiseks kasutatav toormaterjal hõlmab peamisi Eestis levinud puuliike nagu kuusk, kask, lepp, haab. Samuti on tootmiseks võimalik kasutada metsaraie ülejääke nagu raiejäätmek (oksad, laastud, puukoor). Palju ülemäärast raiekaatmist hoiaks ära õlitootmine söetootmisprotsesside käigus, mis on küll vähelevinud, kuid tasapisi populaarsust koguv (Pärn, 2005). Puusütt saab valmistada kändudest, puukoorest jt raiejäätmektest, võsast, puidujäätmektest, väljasorteeritud puidust, lamapuidust metsast.

Pürolüüsi kasutatakse ka jäätmek (enamasti segaolmejäätmek) põletamiseks. Kuna suurem osa olmejäätmek kergestisüttivatest komponentidest on lignotselluloossed, siis on neil sarnased omadused biomassi pürolüüsirotsessil (Phan et al., 2008). Jäätmek pürolüüsiistamiseks need kõigepealt peenestatakse.

4.1.2 Biokeemilised protsessid

Biokeemilised protsessid on näiteks fermentatsioon ehk anaeroobne kääritamine (fotofermentatsioon ja pimefermentatsioon), biofotolüüs, kaudne biofotolüüs. Kuigi tegemist on meetoditega, mida kasutatakse ka biovesiniku tootmiseks (Hidayet, Fikret, 2011), siis Eestis vesinikutootmist alles uuritakse ja katsetatakse (<http://www.seit.ee...>) ning fermentatsiooni kasutatakse peamiselt metaani saamiseks.

4.1.2.1 Anaeroobne lagundamine (kääritamine)

Kääritamine on Eestis seni vähe kasutust leidnud võimalus biolagunevate jäätmete (nt. olmeprügi), reoveesete, loomsete kudede jäätmete (tapamajadest) või farmiheitmete (virts, sõnnik) töötlemiseks. Samuti võib kääritada ka pilliroomassi, mille puhul peab silmas pidama, et kääritamismeetodi valik sõltub kuivaine sisaldusest ning paremaid tulemusi annab just suvel kogutud pillirooma kääritamine. (Aavik, Kask, 2010)

Kääritamisprotsessi käigus saadakse biogaas - oluline energiaallikas, mida eraldub veel ka põletamise, pürolüüsi või gaasistamise käigus. Fermentatsiooni teel biogaasi tootmise headeks näideteks on Eestis AS Tallinna Vesi Paljassaare ja Narva linna reoveepuhastusjaamad (Menert jt., 2010). Aastal 2011 tegelesid biokütuse tootmisega näiteks OÜ Baltic Biogaas, OÜ Mõnus Minek, Nelja Energia OÜ, jt. Lisaks neile on seotud biokütuseturu arendamise ja biokütuste alase teavitustööga MTÜ Eesti Biokütuste Ühing ja MTÜ Eesti Biogaasi Assotsiatsioon (Kippa jt., 2011). Käesoleval aastal (2013) on põllumajanduslikul toormel tööd alustanud biogaasijaam Vinni alevikus (Sammler 2013) ja Oisu biogaasijaam Türi vallas (Kenk, 2013). Veel toodetakse Eestis biogaasi Salutaguse Pärmitehase reoveepuhastis, Aravete biogaasijaamas ja Kuressaare veepuhastusjaamas. Rajamisel on biogaasijaam Tartu lähisteles, Ilmatsalu valda (Kohler, 2013).

Biogaas koosneb peamiselt metaanist ($\sim 2/3$), süsihappegaasist ($\sim 1/3$) ja veest, sisaldades väiksemal määral ka teisi komponente (väävelvesinik, ammoniak, jt.) (Singh, Sooch, 2003). Biogaasi kütteväärtus on vahemikus 5-7 kWh/Nm³- Oja jt. 2012).

Biogaasi teke jaguneb neljaks etapiks (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2009). Esimene neist on hüdroolüüs, mille käigus muudetakse algmaterjal (mis koosneb süsivesikutest, valkudest, rasvadest, jms.) lihtsamateks orgaanilisteks ühenditeks (aminohapped, suhkrud, rasvhapped jne.) Teise etapi, atsidogeneesi, käigus muudetakse tekkinud vaheproduktid lenduvateks orgaanilisteks hapeteks (äädik-, propioon-, võihape), tekivad ka süsihappegaas ja vesinik, samuti alkohole ja piimhapet. Järgmise, atsetogeneesi, etapi käigus saadakse juba biogaasi otsesed eelained: äädikhape, vesinik, CO₂. Metanogeneesil, viimasel etapil, moodustub metaan. Kui kõik eelnevalt nimetatud protsessid toimuvad ühes käärimiskambris, on tootmisprotsess üheastmeline, kui hüdroolüüs ja atsidogenees on ruumiliselt järgnevatest etappidest eraldatud, siis kaheastmeline. Biogaasi tootmise protsess võib olla kas kuiv- (tooraine niiskusesisaldus alla 70%, käärimiskambris oleva massi kuivainesisaldus 20-40%) või märgkääritus (kuivainesisaldus

kuni 15%) (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2009). Protsess ise võib toimuda kas tsükliliselt (kääritit täidetakse perioodiliselt, kasutusel kambri ja vahetatavate kambrite meetod), pideval töötlusrežiimil (kasutatakse ka järelkääritit, eristatakse läbivoolu ja salvestusmeetodit, ka nende kombinatsiooni) või pooltsüklilisel meetodil, mil tsükliline ja pidev täitmine on põimitud omavahel. Samuti kasutatakse erinevaid meetodeid substraadi segamiseks (märgkääritamise puhul) – survevoolu ja täieliku segamise meetod ning eristatakse käärituskambrite olemusest lähtuvalt (kuivkääritamise puhul) – konteinermeetod, boksi- või garaažimeetod, vann-ehk tunnelmeetod jne. (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2009). Erinevaid uudeid meetodeid on välja toodud Sustainable Production through Innovation in SMEs (SPIN) projekti raames koostatud väljaandes (Reinsoo, Roose, 2012).

Biogaasitootmiseks eelkõige väiksemas mahus on võimalus väikefarmeritel, kel tekib tootmistegevuseks vajalikku toorainet ja kes nende ümbertöötlemisega saavad kindlustada majapidamise energeetilise sõltumatuse ja varustuskindluse (Li et al., 2009). Selliseid energeetiliselt sõltumatuid väikefarme või talusid leidub juba nii Soomes kui ka Eestis. Erinevuseks põhjanaabritega on Eesti puhul tootmisüksuste suurus. Peamiselt on Eestis nendeks suured kommertstootmisüksused, samas kui Soome farmid on peamiselt väikesed peretalud (Poikalainen jt., 2009).

Kui biogaasi tootmisel tooraineiks kasutada taimseid ülejääke või jäätmeid, tuleb protsessi tõhustamiseks toorainet vastavalt eeltöödelda ja lagundada taimeraku kestades olevaid süsinikupõhiseid polümeere (tselluloos, hemitselluloos, ligniin), mis pole anaeroobete bakterite poolt kergesti seduvad. Eeltöötlemiseks sobib hästi näiteks NaOH, mis pärast kolmepäevast mõjumisaega toob välja juba olulisi erinevusi – toodetud biogaasi hulk tõuseb 4,9-7,4% ,olenevalt kasutatud tooraine liigist (Li et al., 2009). Lisaks nimetatule on veel teisigi eeltöötlusmeetmeid nagu efektiivsed AFEX (Ammonia fiber expansion) või auruga lõhustamine (Dien et al., 2006; Yang et al., 2009), kuid täpsema meetodi valimine sõltub juba tooraine tüübist (Ortiz et al., 2008) ja rahalistest vahenditest. Uuritud on ka poollooduslikelt rohumaadelt niidetud biomassi töötlemist sooja veega, ning tahke ja vedela osa separeerimist (Melts jt., 2011). Sel juhul tekib eraldi tahke ja suurema kütteväärtusega (väiksem tuhasisaldus, suurem põleva orgaanilise aine osakaal) kiudaineterikas presskook, mida kasutada põletamiseks briketi või pelletina, ja biokeemiliselt hästilagunev pressmahl, mida kasutada biogaasi tootmisel.

Biogaasi on võimalik toota ka reoveepuhastusel tekkivast jäägist. Tekkiv jääk sisaldab suures koguses vett, orgaanilist ainet ja tõvestavaid mikroorganisme, ning seda peab enne edasist ladustamist või kasutamist töötleva - stabiliseerima. Üheks stabiliseerimismeetodiks ongi metaankääritamine. Aastas tekib reoveesetet- jääkaktiivmuda ja toorsetet Eestis ligi 20 000 tonni (kuivainena). Sellest oleks võimalik toota umbes 3100 tonni biogaasi kütteväärtusega ligikaudu 175 TJ/a ehk 49 GWh/a (Reoveesette..., 2001).

Et kasutada biometaani ka transpordikütusena, tuleb seda eelnevalt puhastada. Biogaasi puhastamisel biometaaniks on erinevad meetodid: keemiline absorbeerimine; veega pesemine; surve all adsorbeerimine; membraaneraldus ja krüotehnoloogia (Oja, 2012). Eestis on selle tehnoloogia kasutamine kallid ja praeguse seisuga biometaani transpordikütuseks ei toodeta. (Oja, 2011). Küll aga on kasutusel gaasil töötavad transpordivahendid, mis võiks kütusena kasutada ka biometaani. 2012. aasta 1.aprilli seisuga oli Eestis kokku 153 metaankütust (Eesti puhul surumaagaasi) kasutavat sõidukit (Oja, 2012).

Arvestades, et biogaasis sisalduva metaani globaalsoojendamistegur on süsihappegaasi omast 21 korda suurem siis biogaasi kasutamisel energiakandjana võib iga tonni metaani põletamisega vältida 21 tonni CO₂ atmosfääri paiskumist (Menert jt, 2005).

Teoreetiliste arvutuste põhjal on ühest tonnist settest võimalik saada 162 kg metaani (kui biogaasis on 65% metaani). Seega väldib aastase metaanitoodangu (3100 tonni) ärakasutamine 65 100 tonni süsihappegaasi õhku paiskamise (Menert jt, 2005).

Anaeroobse lagundamise protsess on muuhulgas vähem tundlik ka paljude mürgiste ühendite suhtes, mida reovee jääkprodukt sisaldab, ning on võimalik puhastada ka õli ja rasva sisaldavaid reovedelikke (Menert jt, 2005). Samas ei saa seda rakendada, kui temp. on alla +5 °C, sisepõlemimootori kütusena kasutatavat biogaasi tuleb lisanditest täiendavalt puhastada ja protsessi kiirust piirab ka polümeersete ainete lagunemise (hüdrolüüsi) ulatus, mis nõuab materjali eelkäitlust. (Menert jt, 2004)

Paljassaare reoveepuhastusjaamas kasutatakse metaankäärimist juba alates 1998. aastast. Sellealaseid uuringuid alustati Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituudis 1996. aastal. (Mölder ja Vösu, 1996)

4.1.2.2 Hüdrolüüsi ja kääritamise abil bioetanooli ja biodiisli tootmine

Polüsahhariidide hüdrolüüsil on protsessi katalüsaatoriks hape. Protsess kulgeb astmeliselt üha väiksema polümerisatsiooniastmega vahesaaduste moodustumisega, samaaegselt toimub ka monosahhariidide lagunemine (Reiska, 2011). Protsessi kiirust mõjutavad temperatuur ja happe kontsentratsioon. Hüdrolüüsimetodil on levinud bioetanooli tootmine kolme erineva tehnoloogia abil: hüdrolüüs lahja (konts. 0.2 – 1.0%) väävelhappega (perkolatsioonhüdrolüüs), kontsentreeritud väävelhappega (Arkenoli protsess) ja ensümaatiline hüdrolüüs, mis nõuab tooraine eeltöötlust (Reiska, 2011). Pärast hüdrolüüsi protsessi saadud hüdrolüsaat puhastatakse lisanditest (inversiooniprotsess), neutraliseeritakse ja puhastatakse hõljuvainest. Edasi kääritatakse pärmiseente abil ning saadakse piiritus ja süsihappegaas. Protsessi tõhusamaks toimimiseks võib erinevaid tooraineid ka omavahel segada. Oluline on nii kääritatava materjali hulk, keemiline koostis, toitainete sisaldus kui ka käärimisprotsessi temperatuur (Tutt, Olt, 2010). Parimaid tulemusi on andnud toormaterjalid, millel on suurim tselluloosi ja väiksem hemitselluloosi ja ligniini sisaldus (Menind, Oper, 2011).

Okaspuude puidust võib happelise hüdrolüüsi meetodiga saada 150 – 180 kg 100%-list etüülpiiritust 1 tonni absoluutselt kuiva puidu kohta. (Reiska, 2011)

Etanoolkütuse energeetiline väärtus on küll bensiini omast 33% madalam (Reiska), ent sel on suurem oktaanarv, seega suurem mootori võimsus. Samuti on etanoolisisaldusega bensiini kasutamisel väiksem CO ja teiste kasvuhoone efekti põhjustavate gaaside emissioon. Mootorikütuse E10 kasutamisel väheneb heitgaasides vingugaasi sisaldus võrreldes puhta bensiiniga 20 % ja E85 kasutamisel 40 % võrra ning viimase puhul on ka sulfaatide emissioon 80% väiksem (Reiska, 2011). Samuti väheneb heitgaasides õhku paiskuvate tahmaosakeste ja NO_x sisaldus. Eesti kütuseturule tuli bioetanool E85 2007. aasta augustist (Kippa jt., 2011).

Bioetanooli ja biodiisli toodetakse teraviljast, tärklise- ja suhkrukultuuridest või eelkõige suure õlisisaldusega kultuuridest nagu raps, päevalill, sojaoad, õlipalm või kasutatakse juba töödeldud küpsetusõli. Viimasel juhul tooraineks kasutatav õli filtreeritakse ja lisatakse katalüsaatorit (enamasti NaOH või KOH) (Girard, Fallot, 2006). Segu soojendatakse ja segatakse ning lastakse seista, kuni tekivad metüülestrid (biodiisel) ja kõrvalsaadusena glütseriin. Eelnimetatud toorainetest toodetud kütuseid nimetatakse esimese põlvkonna biokütusteks. Teise generatsiooni biokütuste tootmiseks kasutatakse ka lignotselluloosset toorainet ja materjali, mis on spetsiaalselt

kasvatatud energiakultuurina (Acaroglu, Aydogan, 2012). Teise põlvkonda kuuluvad bioetanool ja biodiislikütus, mis toodetud Fisher-Tropsch tehnoloogiaga, bio-DME [dimetüüleeter/metoksümetaan, mida võimalik toota ja jäätmetest (BioDME 2nd Generation Biofuel)], biometanool ja biodiislikütus, mis toodetud HTU (*Hydro Thermal Upgrading*) tehnoloogiaga (Kask, Kask, 2008).

Teise põlvkonna biokütuste tootmiseks sobivad ka erinevad puidujäätmed: laast pikkusega 5-35 mm, koore sisaldus kuni 12%, mädanikku mitte üle 6%, mineraalseid lisandeid mitte üle 1%. Saepuru, hõövlilaast ja ekstraktsioonilaast sobivad ilma igasuguse lisatöötluseta, perspektiivikas on energiavõsa kasutamine (Reiska, 2011). Etanooli tootmisel rohtsest biomassist on suurima saagisega toormaterjal selline, mis sisaldab rohkem tselluloosi ning vähem ligniini- ja hemitselluloosi (Tutt, Olt 2010). Ka pilliroog sisaldab küllaltki palju tselluloosi (kuivaine keskmiselt keskmiselt 40,88%, seejuures hemitselluloosi 23,57% ja ligniini 9,06% (Aavik, Kask, 2010)).

4.1.2.3 Puidu gasifitseerimine etanooli tootmiseks – bioloogiline meetod

Puhastatud süngaasist on võimalik toota etanooli ka patenteeritud anaeroobsete bakterite *Clostridium ljungdahlii* kultuuri vahendusel. Vastav tehnoloogia on välja töötatud Arkansases. Selle anaeroobse mikroorganismi vahendusel saadud etanooli saagis moodustab 224 kg/t absoluutselt kuiva puidu kohta (Younesi et al., 2005).

5. Ressursihinnang ja perspektiiv

5.1 Halupuud

Halupuud on suurima osakaaluga metsandussaadus, mida kasutatakse küttepuiduna. Küttepuitu kasutatakse samuti veel tööstuslike puidugraanulite tootmiseks (<http://www.graanulinvest.ee...>), millest suurem osa eksporditakse (Kippa jt., 2011). Halupuudena on levinud Eestis sagedaseimad puuliigid, mille keskmised kütteväärtused on välja toodud alljärgnevas tabelis (vt. tabel 2).

Tabel 2. Küttepuidude keskmised väärtused (MJ/kg). Allikas: <http://www.ttu.ee...>

Puuliik	Puidu kuivaine alumine kütteväärtus
Kask	19,4
Kuusk	19,0
Mänd	19,4
Lepp	18,5
Haab	18,4

Keskkonnateabe Keskuse poolt statistilisel valikmeetodil koostatud metsavarude hinnangu järgi oli 2010. aastal Eestis 2,1 miljonit ha metsaga metsamaad. Võttes arvesse metsamaa pindala jagunemist arenguklasside järgi, oli küpses metsas ülekaalus haab, sanglepp ja hall lepp. Suurima arvukusega puuliigid nagu mänd, kuusk ja kask moodustasid enamiku keskealisest metsast, mis on ka kõige suurema osakaaluga arenguklass (Keskkonnateabe keskus, 2010).

Jättes arvesse võtmata Peipsi järve pindala, katab ligikaudu poolt (50,6%) Eesti pindalast mets (Keskkonnateabe keskus). Vaadeldes Eesti metsade paiknemist maakondade järgi, on Hiiumaa suurima metsasusega maakond (vt. tabel 3). Ometi kulub sealne puit peamiselt kütteks ja mööbli valmistamiseks (Hiiumaa Omavalitsuste Liit 2011). Puitu kasutatakse üldiselt lisaks soojus- ja elektrienergia tootmisele ka näiteks ehitusel ja paberitööstuses. Samuti jääb metsaraiel metsa kõdunema palju raiejäätmeid, mis aga on juba potentsiaalne hakkpuidu tooraine.

Tabel 3. Metsamaa tagavara. Allikas: Keskkonnateabe keskus, 2012.

Maakond	Metsasus	Metsamaa tagavara		
	%	1000 m ³	%	m ³ /ha
Harju	51.5	44,046.9	9.6	188.4
Hiiu	70.9	16,276.6	3.6	218.7
Ida-Viru	58.4	38,616.9	8.4	195.9
Jõgeva	50.2	26,734.6	5.8	206.1
Järva	48.5	23,620.4	5.2	172.6
Lääne	43.6	17,340.0	3.8	161.3
Lääne-Viru	48.1	33,903.0	7.4	193.4
Põlva	54.2	26,833.9	5.9	230.6
Pärnu	50.5	52,661.9	11.5	210.5
Rapla	52.2	31,905.8	7.0	199.7
Saare	54.9	32,408.9	7.1	197.9
Tartu	38.0	26,074.1	5.7	203.1
Valga	57.1	26,234.8	5.7	215.7
Viljandi	46.8	35,143.4	7.7	203.9
Võru	49.0	26,646.5	5.8	241.4
KOKKU	50.6	458,447.6	100	201.4

5.2 Hakkpuit

Hakkpuitu ehk puiduhaket toodetakse raiejäätmetest ehk raidmetest (moodustavad koguraiemahust 15-20%), võsast (sinna hulka kuulub ka energiavõsa), küttepuidust ja valgustusraiel saadavast puidust. Kasutatakse ka saetööstuse jäätmeid.

Hakkpuitu saab põletada eraldi või kasutada lisandina puukoort, saepuru, turvast ja päideroogu (<http://www.agri.ee...>) või põlevkivikütust. Hakkpuitu võib kasutada ka gaasistamisel. Esimene puugaasil töötav ja toormena hakkpuitu kasutav koostootmisjaam rajati AS Alternatiivenergia Grupi poolt Võhma linna (Aitsam, 2013).

Hakkpuidu tooraineks on sobilik ka energiavõsa. Eestis on olemas energiavõsa näidiskatsealad ja pajuistandused reovete puhastitena, näiteks Tartumaal, Kambja valla reovete puhastuseks rajatud paju energiavõsa (Tullus, 2008). Soovitavad liigid Eestis energiakultuurina kasvatamiseks on: pajud, lepad (hall lepp ja sanglepp); arukask; haavad (harilik haab ja hübriidhaab). Praeguseks

on Eestis ligi 700 ha hübriidhaava kultuure, millest enamus on AS Södra Eesti omandis (Tullus et al., 2008).

Teoreetiliselt oleks ka vaid looduslikult kasvavat elektriliinide alust võsa ära kasutades katta Eesti energiavajadusest ca 0,71% (Mitt jt., 2007). Kuid arvestades, et paljudele liinidele pole juurdepääsu ja võsa on ligipääsmatu võib koristus muutuda kulukamaks, kui sellest saadava energia väärtus.

Eestis toodeti 2010. aastal hakkpuitu kokku 1,518 mln tihumeetrit (Kippa jt., 2011). Riigimetsa Majandamise Keskus hindab raidmete varumisel saavutatavaks mahuks aastas ligikaudu 150 tuhat m³ (<http://www.rmke.ee>...), 2010. aastal oli see reaalselt 77,17 tuhat tihumeetrit (Kippa jt., 2011) ehk 110,35 tuhat m³. Arvestades raiemahtude, ja seega ka tekkivate raiejäätmete hulga, suurenemist (<http://pub.stat.ee>...), võib ka hakkpuidu tootmine veelgi suureneda. Täpse hakkpuidu toorme liigi ja kättesaadavuse osas puudub ülevaade.

5.3 Pelletid, graanulid, brikett

Metsandussaaduste töötlemisest tingituna tekib lisaks näiteks mööbli-, vineeri-, liimpuidu-, plaadi-, ja teistes tööstustes peenemaid jäätmeid nagu saepuru, puitlaastud ja pilpad. Saepurust saab toota pelleteid ja graanuleid. Pelletid on 6-10 mm läbimõõduga silindrilised pulgakesed, mida toodetakse saepurust ja hõövlilaastust (www.pellet.ee), lisada võib ka rohtset biomassi, näiteks pilliroogu, graanulid on pelletitest suurema läbimõõduga. Pelletite ja graanulite kasutamine nõuab eritüübilist kollet ja tooraine juurdelisamine seadet (Andresson, 2010). Saepuru ja laaste kasutatakse samuti loomade, nt. hobuste, allapanuna, kuid ka juba pärast säärast otstarvet on neid võimalik energia saamiseks briketeerida ja põletada (Hovi jt., 2011).

Puitbriketti saab valmistada lisaks saepurule ka kuivast hõövlilaastust ja klotsihakkest (<http://www.purutuli.ee>...), samuti põhust. Põhubriketti toodab Eestis näiteks OÜ Goodwill (<http://www.gwl.ee>...). Lähtudes tervaviljasaakidest ja Jõgeva Sordiaretus Instituudi arvutuslikult põhusaagi osakaalust on aastast põhu ressursi Eestis hinnatud 2010. aastal 532 ja 2011. aastal 592 tuhande tonni suuruseks (Kippa jt., 2011). Hõövlilaastu ja klotsihaket tekib puidu töötamise tulemusel puidutööstustes, kuid pole teada nende täpset kogust.

Pelleteid ja briketti on võimalik toota ka eeltöödeldud rohtsest biomassist ning seeläbi parandada selle, kui kütuse, kvaliteeti (Melts jt., 2011). Briketeerimiseks tuleks valida suurema

ligniinisaldusega tooraine ja arvestada seejuures ka taime vanust, mis põhjustab ligniini sisalduse suurenemise (Menind, Oper, 2011). Katsetatud on ka olmejäätmete briketeerimist koos puidu – ja paberijäätmetega (Kers, 2012). Eestis on need tehnoloogiad alles uurimisfaasis.

Põletamiseks saab rohtsest biomassist valmistamistada ka presskooki, mille kõrvalsaadust – pressmahla, saab kasutada edukalt biogaasi tootmiseks (Melts jt., 2011). Seda tehnoloogiatki alles põhjalikumalt uuritakse.

5.4 Biogaas

Biogaasi on võimalik toota reoveesette, tööstusliku reovee, kodumajapidamistest ja tööstusest pärit biolagunevate jäätmete, karjakasvatusest tulenevate jäätmete ja rohtse biomassi anaeroobsel kääritamisel.

Reovee puhastamisel tekkivat setet koguneb Eestis ligi 20 000 tonni kuivaine järgi aastas (Menert jt. 2010). Seda saab edukalt biogaasi tootmiseks ära kasutada, misjärel see sobib hästi kasutamiseks ka väetisena. Läga ja sõnnikut kokku tekkis reaalset 2010. aastal Statistikaameti andmetel kuivkaaluga 69 264 tonni (<http://pub.stat.ee...>). 2010. aastal toodeti Eestis väidetavalt prügist, reoveemudast ja lägast 13 mln Nm³ biogaasi aastas (Oja jt. 2012). Kõige rohkem biojäätmeid ja reoveesetet tekitavad ettevõtted asuvad Lääne-Virumaal ja Harjumaal (Kallaste jt., 2012). Loetletud toorainete biogaasi tootmisel kasutamiseks on olulised nende täpsemad näitajad. Biogaasi toodang sõltub suuresti kasutatavast toormassist ja võib seejuures olla iga tooraine puhul erinev. Jäätmete ja reoveesette kasutamine nõuab ka võimalike haigesetkitajate tõttu erilist ettevaatikkust ja jälgimist ning täiendavat töötlemist. Kõik tekkivad reoveesetteid pole oma koostise poolest alati kääritamiseks kõlbulikud.

Suuremates sea- ja veisekasvatuseetevõtetes tekkivast vedel- ja tahesõnnikust ning lindlates tekkivast sõnnikust on biogaasi tootmine kõige lihtsam, paljudes seda ka praktiseeritakse. Teoreetilisest vedel- ja tahesõnniku kogusest oleks Eestis võimalik toota 36-81 miljonit Nm³ biometaani, maksimaalse energiasisaldusega 72 ktoe (1 ktoe= 11,63 GWh) (Normak, Kaasik, 2012). Seejuures kuluks osa biogaasijaamade omatarbeks ning tegelikult energiapotentsiaaliks jääks – 50 ktoe ehk 581,5 GWh. Statistikaamet määrab aga 2010. aasta biogaasi toodanguks vaid 8 mln m³ (<http://pub.stat.ee...>) ja biogaasist toodetav primaarenergia oli 43 GWh (Euroserv

2012). Gaasitoodangut oleks võimalik suurendada, kui lisada sõnnikule täiendavalt teisi põllumajanduslikke saadusi (hein, silo, toiduainetööstuse kõrvalsaadused jms) (Oja, 2012).

Biogaasi tootmiseks või substraadi lisandina sobib hästi ka muu rohtne biomass. Kasutatakse nii söödakultuure (mais, rukkis, suhkru- ja söödapeet), neist ülejäävat põhku (Eesti Põllumeeste Keskliit, 2009), rohusilo, kui ka spetsiaalseid energiakultuure. Energiakultuuridena sobivad Eestis lisaks puittaimedele kasvatamiseks ka rohttaimed. Rohtseteks energiakultuurideks on näiteks galeega ehk ida-kitsehernes, lutsern, päideroog (<http://www.agri.ee...>). Põllumajandusmaad oli 2010. aastal kokku 1.373 miljonit ha, millest suurema osa kattis põllumaa (Kippa jt., 2011), kokku võttis põllumajandusmaa enda alla 31,4 % Eesti pindalast (ilma Peipsi järvet). Samas pole igas piirkonnas kõigi kultuuride kasvatamiseks vastav mulla kvaliteet, mida samuti tuleks silmas pidada.

Rohtsete energiakultuuride hulka kuuluvad ka looduslikult kasvavad taimed nagu pilliroog ja hundinui. Samas tuleb meeles pidada, et kogu kasvav taimestik ei asu ligipääsetavates kohtades ning neil on ka teisi kasutusviise. Näiteks Saaremaalt kogutava pilliroo tehniline potentsiaal oleks hinnanguliselt 110-120 GWh/a, lahutades aga maha kõik kaod ja osalise kasutamise ehitusroo tootjate poolt, jääks bioenergia tootmise tarbeks sellest vaid 50% (Kask, Kask, 2007).

Lisaks spetsiaalsele biogaasi tootmisele, on võimalik juba iseeneslikult tekkivat gaasi ka koguda. Eestis töötab ja on nõuetele vastavad kuus prügilat: Jõelähtme, Uikala, Väätsa, Paikre ja Torma prügilat. Neil kõigil on vastavalt nõuetele ka oma prügilagaasi kogumise süsteem, mis on nõutav vastavalt seadusandlusele (Euroopa Liidu Teataja L 182/1, 1999). Väätsa prügilast koguti ja põletati 2008. aastal tehtud mõõtmiste järgi 350 000 m³ gaasi (Voronova et al., 2011).

Jäätmeid tööstustest, kodumajapidamistest, prügilagaasi, reoveeset, rohtset biomassi, loomakasvatuse jääke ja kaasprodukte – tahke sõnnik ja läga, saab ära kasutada biometaan tootmiseks. Biometaan on puhastatud biogaas, mille metaanisaldus on vähemalt 98%. Hinnanguliselt on Eesti biometaan potentsiaal kokku ligikaudu 300 miljonit Nm³ (Oja jt., 2012), ainult Harju- ja Lääne-Virumaal kokku ligikaudu 41,7 miljonit m³ aastas (Kallaste jt., 2012). Arvestatud on viimasel juhul ressursi biojätmetena, reoveesetena, jätmetena toiduainetööstusest, olmejätmeid, looma- ja linnukasvatusjätmeid ja võimalikku energiakultuuride kasvupindala.

Aastaks 2012 oli Eestis metaankütust tarbivate sõidukite arv tõusnud 210-ni (2009. aasta alguses oli neid 4)(Oja jt., 2012). Samas on gaasi puhastamiseks nõutavad seadmed kallid ja nende tasuvus küsitav mistõttu Eestis seni biometaanu suuremas mahus ei toodeta.

5.5 Põletatavad olmejäätmed

Kogutud olmejäätmete põletamisel on võimalik toota soojus- ja elektrienergiat. Jäätmeenergiaploki rajamise on ette võtnud Iru Elektrijaam (Heinam, 2012). Juba rajatud on koostootmisjaamu ka varasematel aastatel (Väo, Tartu, Pärnu).

2010. aastal tekkis Eestis kokku 19,5 mln tonni jäätmeid (Eesti Konjunkturiinstituut, 2011), millest biojäätmeid oli 1,663 mln tonni ja olmejäätmeid 409 tuhat tonni. Vastavalt Prügiladirektiivile, tuleb järjest enam mõelda jäätmete töötlemise, mitte ladestamise peale (Euroopa Liidu Teataja L 182/1, 1999).

5.6 Vedelkütused

5.6.1 Bioetanool

Bioetanooli toodetakse teraviljadest ja põhust (Tutt jt, 2012), samuti suhkru- ja tärkliserikastest saadustest. Häid tulemusi on näidanud kanepi kasutamine, uuritud on ka pilliroogu, energiaheina ja amuuri siidpöörise kui etanoolitootmise võimalikke tooraineid (Tutt, Olt, 2011).

Eestis ei ole ühtegi bioetanoolitehast ja teravili, mis kasvatatakse bioetanooli tootmiseks, eksporditakse (Kippa jt., 2011).

5.6.2 Biodiisli

Hetkel ei tegutses Eestis ka mitte ühtegi biodiislitehast. Kurvaks näiteks, et turg pole veel pakkumisele valmis, oli 2010. aastal pärast vaevalt kaheaastast tegutsemist pankrotistunud biodiislitehas Paldiskis (Äripäev, 2010).

Biodiisli on võimalik toota õlirikastest taimedest nagu raps, rüps ja õlikanep, mida kasutatakse ka taimeõlide või biogaasi tootmiseks (<http://www.agri.ee...>).

2007. aasta seisuga on Eestis Põllumajandus Registrite ja Infoameti andmetel põllumassiive 1.126 miljonit ha, millest 0.843 miljonit ha on toetusaluseid maid (Biomassi ja

bioenergia...,2007). 110 tuhat ha neist maadest võib hinnanguliselt olla toetusealused, kuid hooldatavad ainult selleks, et toetust saada, teisisõnu on neil võimalus erinevate energiakultuuride kasvatamiseks. Kõige enam põllumajanduslikult kasutatavat maad on 2010. aasta seisuga Lääne-Virumaal (<http://pub.stat.ee...>).

6. Kokkuvõte

Käesoleva töö käigus selgus, et vähemalt energeetika valdkonnas sõltub Eesti suurel määral Euroopa Liidu poolt ettenähtud normidest ja ettekirjutustest. Vastavalt Euroopa Liidu nõuetele on koostatud mitmeid arengukavasid ja kokkuvõtlikke ülevaateid, et saada informatsiooni valdkonna kitsaskohtadest ja täita etteantud piirnorme. Samas on need suhteliselt laiahaardelised ja konkreetsete otsuste tegemiseks liiga ebamäärased.

Bioenergia lõpptarbimise osatähtsus energia lõpptarbimises oli juba 2010. aastal 24,0% (Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium, 2011), mis 2020.-ks aastaks ületab suurelt eesmärgiks püstitatud 25%-lisele osakaalu.

Hoopis murettekitavamaks on osutunud transpordis kasutatavate biokütuste (biodiislikütus, bioetanool, biometaan) osakaal bensiini ja diislikütuse kogutarbimisest, mis oli 2010. aastal 1,76%. (Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium, 2011). Vastavalt Taastuvenergia tegevuskavale aastaks 2020 ja Euroopa Liidu taastuvenergia direktiivi 2009/28/EÜ nõuetele peaks Eestis transpordis kasutatavatest kütustest taastuvad energiaallikad moodustama 10%, mis tundub väga utoopilisena. Eestis ei tegutse ühtki bioetanooli, biodiisli või biometaani tootvat tehast.

Vastavalt toorainele anti käesolevas tööga ka ülevaade Eesti kohalike bioressursside kasutusest. Vaatluse alla võeti taastuvenergeetika kasutusvõimalused ning juba kasutuses olevad ressursid üldiselt ja vastavalt kasutatavatele tehnoloogiatele.

Kasutuselolevast biomassi ressursist moodustab Eestis suure osa puit. Märkimisväärselt suurenes 2010. aastal just puidupõhisest toormest, eriti hakkpuidust, toodetud ja tarbitud energia. Puidu puhul on tegemist otsese metsa ressursi kasutamise või raie- ja tööstustegevusest ülejäävate jääkide realiseerimisega, millest peamiselt toodetakse soojusenergiat. Puidust toodetavateks biokütusteks on halupuit, pelletid, brikett ja hakkpuit. Viimase tootmisel kasutatakse ka puidujäätmed (laastud, puukoor, vms), puude langetamis- ja harvendamisjäätmed.

Puidu kõrval on bioenergia tooraineks ka põllumajandusliku tootmise jäägid (nt. põhk), spetsiaalsed teraviljad, heintaimed, õlikultuurid, karjakasvatusest tingitud jäätmed (sõnnik ja läga), samuti biolagunevad olmejäätmed. Jäätmetest toodetavaks põhiliseks biokütuseks on biogaas, mida saadakse, kas orgaaniliste jäätmete lagunemise (prügilagaas) või nende sihiliku kääritamise tulemusena, kui tekib peamiselt metaan ja süsinikdioksiid. Biogaasisektori arendamise Eestis on enda peale võtnud Eesti Biogaasi Assotsiatsioon, tehes erinevaid uuringuid ja koostades arengukavasid. Hinnanguliselt on Eesti biometaani potentsiaal kokku ligikaudu 300 miljonit Nm³(Oja jt., 2012).

Biomassi ressursi kasutamine Eestis on perspektiivikas, kuid praegu veel alles arendamisel. Selge on, et rohked valdkonna- ja piirkonnapõhised uuringud on biomassiressursi osas vastavalt Euroopa Liidu nõudmistele läbi viidud. Samas on need kogutud erinevatel eesmärkidel ja nõuavad seetõttu põhjalikumat töötlemist.

Legislative background of bioenergy, technologies and perspective for usage in Estonia

BA/Graduation Thesis

Marge Nõmmik

Summary

The purpose of the graduation paper was to analyse bioenergy resources in Estonia and to give an overview of the documents into a legislative area of the European Union and Estonia related to this topic. The work includes seven chapters, the first of which is a basic introduction and second introduction of the material and methodics. The third chapter gives a general background of an overview of legislative documents in European Union and in Estonia. The fourth introduces main biofuels used in Estonia and makes a brief introduction of technology for producing them. The fifth chapter concludes the availability of the resources and gives overview about the possibilities for the future. The sixth chapter is a conclusion.

It became clear from the research that Estonia's legislative documents considering bioenergy and biomass use are built up mainly on the regulations of the European Union. From there also comes main support for the section and surveillance of the activities related to the energy sector.

In conclusion there can be said that Estonia has reached or is reaching some of the goals for using bioenergy (25% from renewable energy resources of the primary energy consumption) but not all of them (only 1,76 % in using biofuels in the transportation sector).

It is possible to use bioenergy in Estonia, but still it needs lots of financial resources, researches to be made (mainly related with the statistical reviews of the technologies and current state of the market) and commitment of both – the government and the society.

7. Kasutatud allikad

7.1 Kasutatud kirjandus

Aavik, T., Kask, Ü. 2010. Pilliroo energeetilise kasutamise tehnilismajanduslikud ja keskkonnakaitselised aspektid. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Kaheteistkümnenda konverentsi kogumik. Tartu, 2010, lk. 19-32.

Acaroglu, M., Aydogan, H. 2012. Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey. Biomass and Bioenergy, vol. 36, pp. 69-76.

Aitsam, V. 2013. Väikesed elektrijaamad on alustanud tormijooksu. Maaleht. 07.02.13

Andresson, A. 2010. Küttepuid soojusenergia allikana Eesti kodudes, TEUK (Taastuvate Energiaallikate uurimine ja kasutamine, konverentsikogumik) XII, lk 11-17.

Ansper, A. 2009. Igamehe päikesekuivati: väikesemõõdulise heliokuivati rakendatavusest puidu kuivatamisel Eesti tingimustes, TEUK XI, lk 81-88.

Dien, B., Jung, H., Vogel, K., Casler, M., Lamb, J., Iten, L., Mitchell, R., Sarath, G. 2006. Chemical composition and response to dilute-acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfaalfa, reed canarygrass and switchgrass, Biomass and Bioenergy, 30, pp. 88-891.

Dornburg, V., Dam, J., Faaij, A. 2007. Estimating GHG emission mitigation supply curves of large-scale biomass use on a country level. Biomass and Bioenergy, vol. 31, issue 1, pp. 46-65.

Euroopa Keskkonnaagentuur, 2006. The European Community's initial report under the Kyoto Protocol

Saadaval:

http://unfccc.int/files/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/application/pdf/ec_initial_report_new.pdf

Girard, P., Fallot, A. 2006. Review of existing and emerging technologies for the production of biofuels in developing countries. Energy for Sustainable Development, Vol. 10, No 2, pp. 92-108.

Heinam, U. 2012. Iru elektrijaama kõrvale kerkib Baltimaade esimene jäätmeenergiaplokk. Keskkonnatehnika 6/2012, lk 12-14.

Hiiumaa Omavalitsuste Liit, 2011. Hiiumaa majandusülevaade 2011. Saadaval: <http://www.hiiumaa.ee/cfiles/documents/majandus/Hiiumaa+majandus+2011+2112.pdf>

Kallaste, T., Laur, A., Pädam, S., Menert, A., Kask, Ü., Andrijevskaja, J., Kask, L. 2012. Mootorikütuse saab peagi rohumaadelt ja lauda tagant. TEUK XIV konverentsi kogumik, lk 16-27. Kask, L., Kask, Ü. 2007. Energeetilise pilliroo saagikuse määramise tulemusi Saare maakonnas TEUK VIII & IX lk 25-37.

Kask, Ü., Kask, L. 2008. Biomassi energeetilise kasutamise arengusuunad. TTÜ soojustehnika instituut, Eesti Biokütuste Ühing, Tartu Maamess 17.04.2008

Kers, J. 2012 Olmejäätmete briketeerimine koos puidu- ja paberijäätmetega. Keskkonnatehnika 1/12, lk 28-31.

Keskkonnateabekeskus, 2010. Aastaraamat Mets 2010. Metsavarud. Saadaval: http://www.keskkonnainfo.ee/failid/aastaraamat_2010a_parandatud.pdf

Kippa, R.(vastutav koostaja), Josing, M., Vanamölder, A., Kadarik, K., Martens, K., Reiman, M., (projektigrupp), 2011. Eesti Konjunkturiinstituudi tellimusel koostatud aruanne, Ülevaade Eesti biokütuste turust 2010. aastal. Tallinn 2011 Saadaval: http://www.mkm.ee/Public/Ylevaade_Eesti_bioenergia_turust_2010._aastal.pdf

Leppiman, A. 2006. „Eesti elektrimajanduse arengukava 2005-2015“ TEUK VII konverentsi kogumik, lk. 9-16, Tartu, 2006

Leppiman, A. 2007. “Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava aastateks 2007-2013”, Saadaval: <http://www.agri.ee/public/juurkataloog/BIOENERGEETIKA/bioenergia.pdf>

Li, X., Li, L., Zheng, M., Fu, G., Lar, J.S. 2009. Anaerobic Co-Digestion of Cattle Manure with Corn Stover Pretreated by Sodium Hydroxide for Efficient Biogas Production. Energy Fuels 2009, 23, pp. 4635-4639.

Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium koostöös ÄF-Estivo AS-iga, 2008. ”Eesti elektrimajanduse arengukava 2008-2018 keskkonnamõju strateegiline hindamine.”

Saadaval: http://www.mkm.ee/public/ELMAK_KSH.pdf

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2011. Eesti Vabariigi aruanne Euroopa Komisjonile taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise ja edendamise edusammude kohta. Tallinn 2011

Menert, A., Michelis, M., Rikman, E., Blonskaja, V., Kaljurand, M., Kallaste, M. 2010. "Biolagunevate jäätmete fermentatsioon taastuvate energiaallikate saamiseks" TEUK XII, lk. 49-59.

Mitt, R., Muiste, P., Ivandi, K. 2007. Elektriliinide trassidelt saadava võsa energeetiline potentsiaal, TEUK VIII&IX, lk. 38-43.

Normak, A., Kaasik, A. 2012. Põllumajandusettevõtetes biogaasi tootmise võimalused sõnnikust. TEUK XIV konverentsi kogumik, lk. 122-131.

Oja, A. 2011. Toimetajad: Reinsoo, K., Roose, A. Eesti biogaasisektori ülevaade: hetkeseis ja arenguvajadused. Ülevaade koostatud Läänemere regiooni SPIN projekti raames.

Oja, A., Trink, T., Unt, L. 2011. Regionaalne biogaasistrateegia ja selle rakenduskava väljatöötamine. Tartu-Aasmäe, 2011

Oja, A. 2012. Metaankütuste kasutamine Eesti transpordis. Ettepanekud valdkonna arendamiseks. EAS Energiatehnoloogia program. Töörühm- Metaankütuste kasutamise edendamine transpordis. Saadaval: http://www.monusminek.ee/documents/EAS_metaankytused_8_Lyhike_oja_280512.pdf

Oja, A., Tamm, J., Sahk, J. 2012. Eelduste loomine metaankütuste kasutamiseks Eesti transpordis. TEUK XIV konverentsi kogumik, lk. 6-15.

Ortis, W.J., Holtman, K., Seiber, J.N. 2008. Agricultural Chemistry and Bioenergy. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2008, 56, pp. 3892-3899.

Phan, A.N., Ryu, C., Sharifi, V. N., Swithenbank, J. 2008. Characterisation of slow pyrolysis products from segregated wastes for energy production. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 81 (2008), pp. 65-71.

Poikalainen, V., Kokin, E., Veermäe, I., Praks, J., Frorip, J., Noormets, M., Ahokas, J., Mikkola, H., Hautala, M. 2009. ENPOS energeetiliselt sõltumatu talu, TEUK XI, lk. 45-56.

Pärn, L. 2005. "Puidupõhise bioõli tootmise võimalused Eestis" Magistritöö metsateaduse magistrikraadi taotlemiseks metsatööstuse erialal.

Reiska, R., 2011. Bioetanool puidust. TTÜ Puidutöötlemise õppetooli õppematerjal. Saadaval: http://www.kk.ttu.ee/puit/Puittoodete_tehnoloogia/Bioetanool_puidust.pdf

Singh, K.J., Sooch, S.S. 2003. Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India. Energy Conversion and Management 45 (2004) pp. 1329–1341.

Steele, P.H., Yu, F., Gajjala, S. 2009. Past, Present and Future Production of Bio-oil.

Woody Biomass Utilization: 2009 FPS Conference Proceedings

Saadaval: <http://www.abe.msstate.edu/~fyu/Paper%20Past%20Present%20Future.pdf>

Teusch J. 2010. Taastuvenergia. Saadaval: http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/et/FTU_4.13.4.pdf (07.05.12)

Tullus, H. 2008. Põllumaade metsastamise ökonoomilised, regionaalpoliitilised (regionaalsed), maakasutuspoliitilised (maakasutuslikud), keskkonnakaitselised ja sotsiaalsed aspektid ning riikliku suunamise vajalikkus ja võimalused. Projekti lõpparuanne. Eesti Maaülikool, Tartu 2008

Tullus, H., Tullus, H., Soo, T., Pärn, L. 2008. Above-ground biomass characteristics of young hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) plantations on former agricultural land in Estonia. Biomass and Bioenergy, vol. 33, issue 11, pp. 1617-1625.

Tutt, M., Olt, J. 2010. Rohtsest biomaterjalist vedela biokütuse tootmisvõimaluste uurimine TEUK XII lk. 106-114.

Tutt, M., Olt, J. 2011. Erinevate taimeliikide võrdlus bioetanooli tootmiseks. TEUK XIII konverentsi kogumik, lk. 157-165.

Tutt, M., Kikas, T., Olt, J. 2012. Eeltöötlusmeetodi mõju bioetanooli saagisele. TEUK XIV konverentsi kogumik, lk. 109-117.

Vares, V. Kask, Ü. Muiste, P. Pihu, T. Soosaar, S. 2005. Biokütuse kasutaja käsiraamat. <http://www.cbss.st/basrec/documents/bioenergy/dbaFile10621.pdf>.

Voronova, V., Moora, H., Loigu, E. 2011. Environmental assessment and sustainable management options of leachate and landfill gas treatment in Estonian municipal waste landfills. Management of Environmental Quality: An International Journal Vol. 22 nr 6, 2011, pp. 787-802.

Yang, Y., Sharma-Shivappa, R., Burns, J.C., Cheng, J.J. 2009. Dilute Acid Pretreatment of Oven-dried Switchgrass Germplasms for Bioethanol Production, Energy & Fuels, 23, pp. 3759-3766.

7.2 Kasutatud normatiivaktid

Eesti Vabariigi Põhiseadus. Vastu võetud 28.06.1992, RT 1992, 26, 349 jõustumine 03.07.1992

<https://www.riigiteataja.ee/akt/633949>

Eesti elektrimajanduse arengukava aastani 2015; Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Saadaval: https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Eesti_elektrimajanduse_arengukava.pdf

Eesti kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015. Vastu võetud: 15.12.2004, RT I 2004, 88, 601, jõustunud 16.12.2004 Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/829062>

Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020 kinnitamine. Vastu võetud 15.06.2009, RT I 2009, 33, 215, jõustumine 17.06. 2009 Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/13194286>

Euroopa Komisjon, 1996. Communication from the Commission - Energy for the Future: Renewable Sources of Energy - Green Paper for a Community Strategy, COM(96) 576, November 1996

Saadaval: http://europa.eu/documentation/official-docs/green-papers/index_et.htm

Euroopa Komisjon, 1997. Communication from the Commission - Energy for the future: Renewable sources of energy - White Paper for a Community strategy and action plan COM(97) 599, November 1997

Saadaval: http://europa.eu/documentation/official-docs/white-papers/index_et.htm#1997

Euroopa Komisjon, 2010, Komisjoni teatis Euroopa Parlamendile, Nõukogule, Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomiteele ja Regioonide Komiteele, Energia 2020 Säästva, konkurentsivõimelise ja kindla energia strateegia. SEK(2010) 1346, KOM(2010) 639 lõplik, Brüssel 10.11.2010

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:ET:PDF>

Euroopa Liidu Teataja L 182/1, 1999. Euroopa Nõukogu direktiiv prügilate kohta, 1999/31/EÜ, 26. aprill 1999, lk 228-246.

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:04:31999L0031:ET:PDF>

Euroopa Liidu Teataja L 123 , 2003. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2003/30/EÜ, 8. mai 2003 lk 0042 – 0046.

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0030:ET:HTML>

Euroopa Liidu Teataja L 140 05.06.2009 (a) Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ, Taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta ning direktiivide 2001/77/EÜ ja 2003/30/EÜ muutmise ja hilisema kehtetuks tunnistamise kohta. 23. aprill 2009. Pp. 16-62.

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF>

Euroopa Liidu Teataja L 140, 05.06.2009 (b). Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/29/EÜ, 23. aprill 2009, lk. 63-87.

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:et:PDF>

Euroopa Liidu Teataja L 140, 05.06.2009 (c), Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/31/EÜ,

23. aprill 2009, lk. 114 – 135. Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0114:0135:ET:PDF>

Euroopa Liidu Nõukogu, 2006. Uuendatud Euroopla Liidu Säästva arengu strateegia. Vastu võetud Ülemkogu kohtumisel 15.- 16. Juuni 2006, avaldatud: Brüssel, 26. juuni 2006 (30.06)

Saadaval: <http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=371437/Uuendatud+strateegia.pdf>

Euroopa Ühenduste Komisjon, 2005. Komisjoni teatis. Biomassi tegevuskava, {SEK(2005) 1573}, KOM(2005) 628 lõplik, Brüssel 07.12.2005

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0628:FIN:ET:PDF>

Euroopa Ühenduste Komisjon, 2006. Communication from the Commission, An EU Strategy for Biofuels, COM(2006) 34 final, Brüssel, 8.2.2006

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0034:FIN:EN:PDF>

Euroopa Ühenduste Komisjon, 2009. Komisjoni teatis Euroopa Parlamendile, Nõukogule, Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomiteele ning Regioonide komiteele KOM(2009) 400 lõplik

“Säästva arengu kaasamine ELi poliitikavaldkondadesse: Euroopa Liidu säästva arengu strateegia läbivaatamine 2009. aastal” Brüssel 24.7.2009

Saadaval: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0400:FIN:ET:PDF>

Kobayashi, N., Fan, L., 2011. Biomass direct chemical looping process: A perspective. Biomass and Bioenergy 35 (2011) pp. 1252-1262.

Konkurentsivõime kava “Eesti 2020”, Vabariigi Valitsuse poolt kinnitatud 28.04.2011, Saadaval: http://www.valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/riigikantselei/strateegia/Eesti_2020.pdf

Konkurentsivõime kava “Eesti 2020”, Vabariigi Valitsuse poolt kinnitatud 26.04.2012,

Saadaval: http://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/riigikantselei/strateegia/_b_konkurentsivoime-kava_b/_b_eesti-2020-strateegia/Eesti%202020%20%282012%20uuendamine%29/eesti%202020.pdf

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi määrus: “Taastuvast energiaallikast toodetava elektrienergia osakaalu määramise tingimused ja kord elektrienergia tootmisel kombineeritult taastuvast ja muust energiaallikast” Vastu võetud 23.02.2004 Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/711957>

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2007. Energiasäästu sihtprogramm 2007-2013, Kinnitatud Vabariigi Valitsuse 05.11.2007 korraldusega nr 485

Saadaval: https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/energias_tu_programm_kinnitatud05.11.07.pdf

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2008. Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020, Vastu võetud 15.06.2009, jõustumine kp. 17.06.2009, avaldamismärge: RT I 2009, 33, 215

Saadaval: https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Energiamajanduse_riiklik_arengukava_aastani_2020.pdf

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2009. Eesti elektrimajanduse arengukava aastani 2018. Vastu võetud 26.02.2009 nr 74, jõustumise kp. 26.02.2009, avaldamismärge RTL 2009, 21, 274

Saadaval: https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Eesti_elektrimajanduse_arengukava.pdf

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2010. Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020. Vabariigi Valitsuse poolt korraldusega nr 452 heaks kiidetud: 26.11.2010. Saadaval: http://www.mkm.ee/public/nreap_EE_final_101126.pdf

Põllumajandusministeerium, 2010. Põllumajandustoodetele ja mittepuidulistele metsasaadustele lisandväärtuse andmise investeeringutoetuse saamise nõuded, toetuse taotlemise ja taotluse menetlemise täpsem kord. Vastu võetud: 27.07.2010 nr 85, Riigi Teataja I, 2010, 53, 10; jõustumine 06.08.2010. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/129122010055>

Riigikantselei ja ministeeriumite ametnikest koosnev arengukava komisjon, 2007. Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava aastateks 2007-2013.

Saadaval: <http://www.agri.ee/public/juurkataloog/BIOENERGEETIKA/bioenergia.pdf>

Riigi Teataja I 1995, 31, 384. Säästva arengu seadus. Vastu võetud 22.02.1995, jõustumine 01.04.1995

Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/874359>

Säästva arengu seadus. 22.02.1995, RT I 1995, 31, 384, jõustumine 01.04.1995 Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/874359>

Ühinenud Rahvaste Organisatsioon, 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Saadaval: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

7.3 Kasutatud internetileheküljed

Elering OÜ, 2011a, Taastuvenergia toetus, <http://www.elering.ee/taastuvenergia-toetus-2/>

(15.05.11)

Elering OÜ 2011b, Eesti taastuvenergia tootang on aastaga tõusnud 50% võrra, <http://www.elering.ee/eesti-taastuvenergia-tootang-on-aastaga-tousnud-50-vorra/> (15.05.11)

Elering OÜ 2011c, Taastuenergia osakaal koguelektritarbimises on oluliselt kasvanud <http://www.elering.ee/taastuenergia-osakaal-elektri-kogutarbimises-on-oluliselt-kasvanud/> (20.05.11)

Energiakultuuride kalkulaator. http://www.agri.ee/energia/index.php?module=2&op=&dok_id=1 (14.05.13)

Eurobserv`er 2012. Biogas barometer. Dec. 2012 <http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro212biogas.pdf>

Euroopa Komisjon, 2010. Climate Action. What is the European Union doing on climate change? Viimati muudetud 08.10.10 Saadaval: http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/index_en.htm (08.05.12)

Euroopa Komisjon, 2012. Jätkusuutlik majanduskasv ressursitõhusa, loodussäästlikuma ja konkurentsivõimelisema majanduse huvides, viimati muudetud 12.04.12, Saadaval: http://ec.europa.eu/europe2020/priorities/sustainable-growth/index_et.htm (07.05.12)

Fortum Tartu koduleht, Tartu Elektriijaama üldandmed ja seaded Saadaval: http://www.fortumtartu.ee/page.php?lang=1&action=show_page&page_id=170 (19.05.11)

Graanul Invest. Tooraine <http://www.graanulinvest.ee/est/tooraine/toormeliigid/33/saepuru> 14.05.13

Keskkonnaministeerium, koduleht, 2012. Euroopa. Saadaval: <http://www.envir.ee/2848> (08.05.12)

Keskkonnaministeerium, koduleht, 2011. Kasvuhoonegaaside heitkoguste poliitikad, meetmed ja prognoosid. Saadaval: <http://www.envir.ee/1166673> (12.05.11)

Konkurentsivõimeline vähese CO₂ -heitega majandus aastaks 2050 – edenemiskava. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:ET:HTML> (10.05.13)

Sihtasutus Kredex. Toetused <http://www.kredex.ee/toetus/> (18.05.13)

RMK. Raidmete müük. <http://www.rmke.ee/puidumuuk-1/puidumuuk/raidmed> (14.05.13)

OÜ Goodwill. Põhubrikett. <http://www.gwl.ee/?lang=est&selected=17> 15.05.13

Pelletiküte. Mis on pellet? www.pellet.ee 14.05.13

Roostikestrateegia Soomes ja Eestis. Interreg IIIa. "Pilliroog – Energiataim" Saadaval: <http://www.pilliroog.ee/bioenergia.htm> (15.05.12)

Statistikaamet 2013 – Energiabilanss. Tabeli kood KE 023 <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>

Statistikaamet 2013 – Koostootmisjaamad. Tabeli kood KE 034 <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>

Statistikaamet 2013 – Metsaraie raiedokumentide alusel. Tabeli kood MM04 <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>

Statistikaamet 2013- Jäätmeteke. Tabeli kood KK 068 <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>

Statistikaamet 2013 – Kütuse tarbimine. Tabeli kood KE061 <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>

Statistikaamet 2013 – Põllumajandusmaa kasutus. Tabeli kood PMS 101 <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>

TTÜ koduleht. Saadaval: http://www.ttu.ee/public/s/soojustehnika-instituut/2_Puit.pdf (05.05.2013)

Vabariigi Valitsuse koduleht. "Eesti 2020", viimati uuendatud 26.04.12, Saadaval: <http://www.valitsus.ee/et/riigikantselei/eesti2020> (07.05.12)

Äripäev, Logistikauudised. 05.07.2010 Biodiesel Paldiski pankrotistus. Saadaval: <http://www.logistikauudised.ee/Default.aspx?PublicationId=9ea4995c-f09e-4099-ba58-830e7d40ea5b> 16.05.13

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks

Mina, Marge Nõmmik

(sünnikuupäev: 29.11.1988)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

**BIOENERGEETIKA SEADUSANDLIK TAUST, TEHNOLOOGIAD JA KASUTAMISE
PERSPEKTIIVID EESTIS,**

mille juhendaja on Ain Kull,

reprodutseerimiseks säilitamise, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigus jääb alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **19.05.2013**